

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого»
Кафедра «Физика и электротехника»

Л. Г. Бычкова

ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ
ПОСТОЯННОГО, ПЕРЕМЕННОГО
ОДНОФАЗНОГО И ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Пособие

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области информатики и радиоэлектроники
в качестве пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальностям 1-36 04 02 «Промышленная
электроника» и 1-53 01 07 «Информационные технологии
и управление в технических системах»*

Гомель 2019

УДК 621.3.011.7(075.8)

ББК 31.211я73

Б95

Рецензенты: зав. каф. «Электротехника» Белорусского государственного университета транспорта канд. техн. наук, доц. *В. А. Пацкевич*;
проф. каф. «Теоретические основы электротехники»
Белорусского государственного университета информатики
и радиоэлектроники канд. техн. наук *А. П. Курулев*

Бычкова, Л. Г.

Б95 Линейные электрические цепи постоянного, переменного однофазного и трехфазного тока : пособие / Л. Г. Бычкова ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 159 с.

ISBN 978-985-535-402-5.

Содержит методические рекомендации, требования к подготовке, выполнению, оформлению и защите одиннадцати лабораторно-расчетных работ по разделу «Линейные электрические цепи постоянного, переменного однофазного и трехфазного синусоидального тока» курса «Теория электрических цепей».

Для студентов специальностей 1-36 04 02 «Промышленная электроника» и 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.3.011.7(075.8)

ББК 31.211я73

ISBN 978-985-535-402-5

© Бычкова Л. Г., 2019

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие подготовлено в соответствии с программами курса «Теория электрических цепей» для студентов специальностей 1-36 04 02 «Промышленная электроника» и 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах».

Данное пособие включает 11 лабораторно-расчетных работ, которые выполняются на стенде «Луч», представляющем собой сложное электронное устройство. Поэтому к выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие порядок работы со стендом по описанию под руководством преподавателя на вводном занятии.

Пособие выполнено фронтально и разбито на несколько циклов, соответствующих утвержденной программе. В конце каждого цикла осуществляется защита выполненных лабораторно-расчетных работ и задач по теме цикла, приведенных в приложениях по вариантам.

Все исследуемые цепи в первом цикле лабораторных работ собирают только из резистивных элементов и измеряют действующие значения напряжения гармонической формы. При этом все приводимые математические выражения аналогичны соответствующим выражениям для цепей постоянного тока.

Программа расчетно-лабораторных работ позволяет внедрить перспективную форму обучения, предусматривающую чередование расчета реальных электрических цепей с экспериментальными исследованиями этих цепей в лаборатории и ориентированную на самостоятельную работу студентов под руководством и контролем преподавателя.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-РАСЧЕТНЫХ РАБОТ КАФЕДРЫ «ФИЗИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

Рассмотрим основные этапы выполнения лабораторно-расчетных работ.

Подготовка к выполнению работы

Подготовка включает в себя: изучение теоретического материала по литературе, указанной в работе, по лекциям, задачам, рассмотренным на занятиях; изучение описания; составления бланка отчета. Бланк отчета содержит:

1. *Титульный лист* (оформляется в электронном варианте, пример оформления приведен в приложении 1).

2. *Цель работы.*

3. *Выполненное правильно задание на предварительный расчет.*

Предварительный расчет оформляется как обычная задача: схема, выполненная в соответствии с ГОСТ 2.710–81 (см. приложение 2), исходные данные, расчет. Результаты расчета заносятся в соответствующую таблицу. Таблицы оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105–79. Примеры оформления приведены в описании к лабораторным работам и в приложении 2.

4. *Задание на эксперимент, который включает:*

- электрические схемы;
- таблицы данных наблюдений и расчетов;
- *краткий* порядок выполнения работы (указать, какая зависимость снимается и куда заносятся результаты эксперимента).

5. *Обработка экспериментальных данных и выводы.*

Бланк отчета выполняется каждым студентом отдельно и представляется к коллоквиуму (допуск к лабораторной работе).

Коллоквиум

Коллоквиум проводится в часы занятий в лаборатории перед выполнением экспериментальной части работы. Студент должен ответить на вопросы для самопроверки, дать объяснения по существу предстоящей работы, технике эксперимента, расчетной части.

Выполнение работы

1. Проверить положение всех тумблеров и регуляторов на стенде. Включить стенд, соблюдая порядок, указанный в описании к стенду. Проверить проводники на отсутствие внутренних порывов. Для этого установить на вольтметре V_1 максимальное напряжение и поочередно каждым проводником соединять выходное гнездо (верхнее) блока ГЗ с входным гнездом вольтметра V_2 . Если проводник исправен, то стрелка вольтметра V_2 будет отклоняться на такой же угол, как и на V_1 . Во время проверки проводники следует слегка подергивать. Неисправный проводник следует заменить на исправный у преподавателя.

2. Сборку цепи нужно начинать с основной (токовой) части. Провода от вольтметров, осциллографа и фазометра присоединяют к соответствующим точкам цепи в последнюю очередь. Сборка цепи осуществляется при выведенном входном напряжении. ***Прежде чем включить источники питания, студенты должны получить на это разрешение преподавателя.***

3. Прежде чем перебрать или разобрать цепи, необходимо показать результаты измерений преподавателю.

4. ***После выполнения работы до разборки схемы преподаватель подписывает протокол.*** Все записи в протоколе должны быть выполнены чернилами, четко и аккуратно. Если при измерении допущена ошибка, то неправильные результаты зачеркиваются и записываются новые значения. Протокол является составной частью отчета и не переписывается.

Обработка экспериментальных данных и анализ полученных результатов

1. Отчет в целом должен быть составлен таким образом, чтобы для понимания содержания и результатов проведенной работы не требовалось никаких устных пояснений.

2. Графические зависимости рекомендуется наносить на координатные сетки размером не менее 100×150 мм. По осям нужно указать отдельно стандартные условные обозначения величин и единиц измерения. На осях указать деления с одинаковыми интервалами (масштаб). При изображении на одном графике зависимостей нескольких различных величин надо строить дополнительные шкалы

параллельно основным. На графиках следует четко показывать все точки, соответствующие опытным данным (кружки или крестики). Графики для наглядности изображать разным цветом.

Расчеты, графики и диаграммы снабжаются наименованиями, краткими пояснениями, ссылками на разделы и пункты протокола.

Выводы по работе

Анализ полученных в работе результатов заключается в сопоставлении теоретических положений с результатом эксперимента, в объяснении имеющих место расхождений теории и практики. ***Выводы являются важнейшей частью лабораторной работы.***

Весь отчет в целом должен быть оформлен аккуратно. Бланк отчета выполняется каждым студентом отдельно на бумаге размера А4 (210 × 297 мм) без рамки со следующими размерами полей: левого и верхнего – 20 мм; правого и нижнего – 10 мм. Страницы имеют сквозную нумерацию, титульный лист не нумеруется. Формулы в тексте пишутся на отдельной строке, располагаются по центру.

Защита выполненной работы

Выполненный отчет студент представляет преподавателю на проверку вместе с протоколом следующей работы. ***Без выполненного отчета по предыдущей работе студент не допускается к следующей,*** так как работы представляют непрерывный цикл, и для выполнения следующей требуется использовать данные или выводы предыдущей. После проверки представленного отчета преподаватель в случае необходимости возвращает отчет на доработку.

В процессе защиты проверяется знание студентами техники проведения эксперимента, понимание полученных результатов, а также знание основных вопросов теории, связанных с тематикой лабораторно-практической работы.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛАБОРАТОРИЯХ КАФЕДРЫ «ФИЗИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

1. До начала работы с аппаратурой студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и расписаться в специальном журнале. Инструктаж проводит преподаватель, ведущий занятия.

2. В соответствии с п. 30 ГОСТ 12.1.009–76 малым является напряжение более 42 В, поэтому студентам запрещается вскрывать приборы, макеты или какую-либо аппаратуру, поскольку в них могут оказаться неизолированные участки с напряжением более 42 В.

3. Нельзя касаться корпусов двух приборов одновременно. При нормальной работе все корпуса должны быть соединены между собой и иметь одинаковые потенциалы. В случае, если один корпус заземлен, а другой – нет, на корпусе заземленного прибора при пробое силового трансформатора может появиться сетевое напряжение, что опасно. По этой же причине нельзя одновременно касаться корпуса прибора и устройств, имеющих нулевой потенциал (водопроводные трубы, отопительные радиаторы).

4. Запрещается пользоваться неисправной изоляцией.

5. При возникновении опасности следует отключить аппаратуру от сети и сообщить преподавателю о случившемся.

6. Возникают случаи, когда несоблюдение правил эксплуатации ведет к порче аппаратуры. Не следует замыкать накоротко выводы источников питания, генераторов и тому подобных устройств, или подключать резистор с малым сопротивлением, поскольку в цепи возникают значительные токи. ***Необходимо строго соблюдать порядок включения и отключения стенда, иначе возникают большие коммутационные токи.***

Лабораторно-расчетная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 9–13], [2, с. 128–131], [3, с. 6–8];
- 2) изучить описание к лабораторной работе и подготовить протокол отчета;
- 3) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы:

1. Снять внешние характеристики источников энергии.
2. Познакомиться с управляемыми источниками энергии.

Краткие пояснения

Неуправляемый источник питания представляет собой активный двухполюсник (рис. 1.1, *а*), внешняя характеристика которого описывается уравнением (1.1) или (1.2):

$$U_{12} = E - R_i I; \quad (1.1)$$

$$I = J - g_i U_{12}, \quad (1.2)$$

где E – ЭДС генератора; R_i – внутреннее сопротивление; $g_i = 1/R_i$ – внутренняя проводимость; $J = E/R_i$ – ток короткого замыкания генератора.

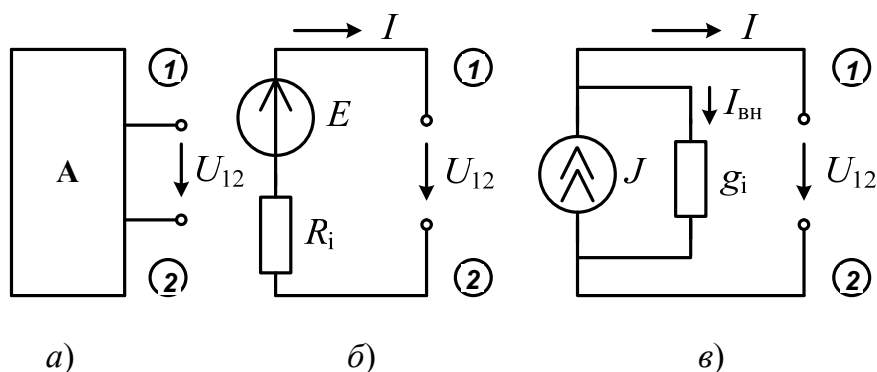


Рис. 1.1

В соответствии с (1.1) и (1.2) можно представить две схемы замещения реального источника: источник ЭДС (рис. 1.1, *б*) и источник

тока (рис. 1.1, в). Схемы рис. 1.1, б, в – эквивалентны. Обратим внимание на следующее: схема рис. 1.1, б эквивалентна схеме рис. 1.1, в только в отношении энергии, выделяющейся в сопротивлении нагрузки R_H , подключаемой к зажимам 1–2, т. е. в схемах одинаковы напряжения U_{12} и ток I , протекающий через нагрузку. Мощность, выделяемая во внутреннем сопротивлении источников, неодинакова. Внешняя характеристика генератора в общем случае отличается от линейной (рис. 1.2, а). Если в заданных условиях режим генератора не выходит за пределы линейного участка, то генератор можно считать имеющим линейную характеристику (рис. 1.2, б).

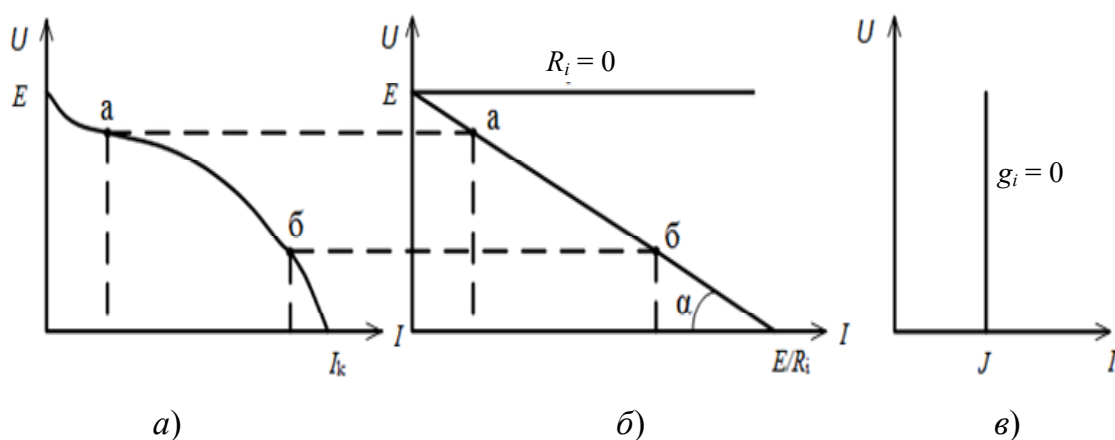


Рис. 1.2

Расчет и построение внешней характеристики линейного генератора выполняется по двум режимам работы: режим холостого хода (ХХ) и режим короткого замыкания (КЗ).

1. Режим холостого хода соответствует разомкнутым зажимам генератора: $R_H = \infty$, ток генератора I равен нулю. Напряжение на внешних зажимах $U_{12} = E$ имеет наибольшее значение. Этот режим на практике используют для измерения ЭДС генерирующего устройства.

2. Режим короткого замыкания создается при замыкании внешних зажимов накоротко. Ток короткого замыкания $I_K = E/R_i$ является наибольшим током, его величина для многих генерирующих устройств является недопустимо большой. Внутреннее сопротивление генератора $R_i = E/I_K$ определяется угловым коэффициентом $\text{tg}\alpha$ внешней характеристики. Если выполняется условие $R_i \ll R_H$, где R_H – нагрузочное сопротивление, то источник ЭДС считается идеальным, $R_i \approx 0$. Напряжение идеального источника ЭДС $U_{12} = E$ и не зависит от тока.

Источником тока, близким к идеальному, является реальный источник, внутренняя проводимость которого $g_i \ll 1/R_H$ (в расчетах принимают $g_i = 0$). Внешняя характеристика идеального источника тока показана на рис. 1.2, в.

Кроме режимов ХХ и КЗ, различают еще два основных режима работы источников питания. **Согласованный** режим характеризуется максимально возможной мощностью передачи энергии от генератора к нагрузке (это выполняется в том случае, если $R_i = R_H$). **Номинальный** режим генератора – это режим, при котором напряжение, ток и мощность генератора соответствуют тем значениям, на которые они рассчитаны заводами-изготовителями. Величины, определяющие номинальный режим, обычно указывают в паспорте или на щитке генератора.

В зависимости от назначения электрической цепи положение рабочей точки на внешней характеристике может быть различным. Для большинства электронных и радиотехнических цепей номинальный режим соответствует согласованному. В некоторых случаях маломощные генераторы работают в режиме, близком к режиму КЗ. В этом случае генерирующее устройство удобно представить в виде источника тока. Мощные генераторы с целью получения значительного КПД работают в режиме, близком к режиму ХХ. В этом случае генерирующее устройство представляют в виде источника ЭДС.

На рис. 1.3 приведены графики внешней характеристики $U(I)$, мощности, потребляемой нагрузкой $P_H(I)$ и генерируемой $P_T(I)$; коэффициента полезного действия $\eta(I)$ генератора.

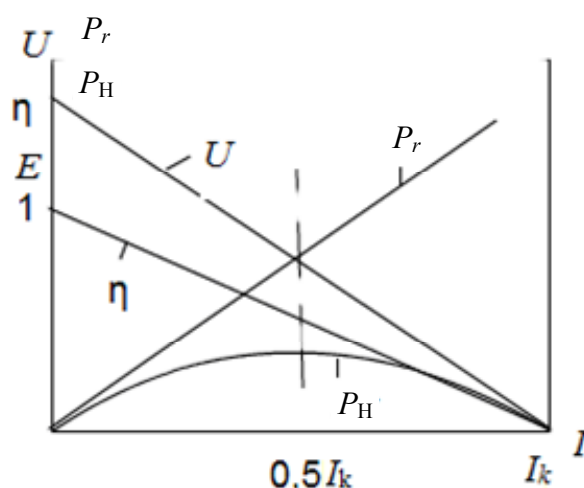


Рис. 1.3

Для схемы замещения источник ЭДС:

$$P_H = I^2 R_H = (E / (R_H + R_i))^2 R_H;$$

$$P_r = IE = E^2 / (R_H + R_i);$$

$$\eta = P_H / P_r = R_H / (R_H + R_i).$$

Источники питания могут быть неуправляемыми и управляемыми. Неуправляемым (независимым) источником называют такой, ЭДС или ток которого не зависят от напряжений или токов других ветвей. Зависимый или управляемый источник тока имеет на выходе напряжение или ток только в том случае, если на другом участке цепи имеется напряжение или протекает ток.

Задание на эксперимент

1. Познакомиться с устройствами, из которых в данной работе собираются исследуемые цепи: генератор; электронный вольтметр; источники напряжения и тока; магазин сопротивлений; регулятор и переключатели, имеющиеся на панели (рис. 1.4).

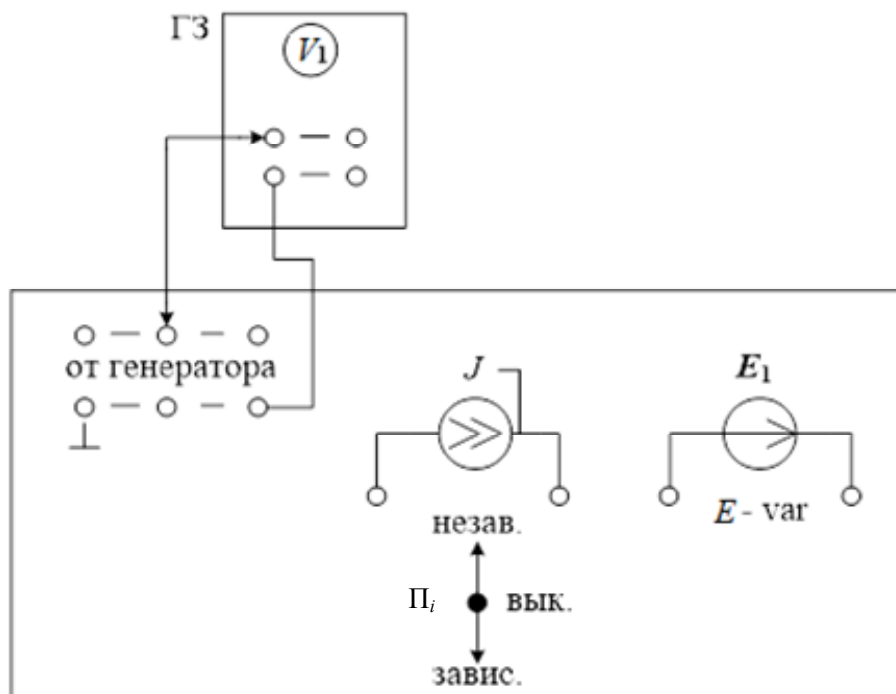


Рис. 1.4

2. Левая нижняя наклонная панель стенда называется панелью активных элементов.

Во втором верхнем ряду панели (см. рис. 1.4) расположены: источник ЭДС E_1 с регулируемым напряжением; источник тока J с переключателем «П», имеющим три положения: среднее – источник выключен; верхнее – источник независимый; нижнее – источник тока зависимый. Величина тока источника изменяется напряжением источника E_1 , т. е. источник тока является управляемым источником тока типа ИТУН. Левее источника тока расположен источник ЭДС E_2 (на рис. 1.4 не показан), а еще левее – гнезда «от генератора». Эти гнезда должны быть соединены внешними проводниками с выходными гнездами генератора ГЗ так, как показано на рис. 1.4. Напряжение на ГЗ установить 2–3 В.

Внимание! Корпусной (левый) зажим источников ЭДС E_1 и E_2 соединен внутри стенда с общей корпусной точкой. У источника тока ни одна точка не соединена с корпусной точкой стенда.

3. Собрать схему на рис. 1.5. Снять внешнюю характеристику генератора E_1 для двух значений выходного напряжения: $E_1 = E_{1\text{ макс}}$ и $E_1 = 0,5E_{1\text{ макс}}$.

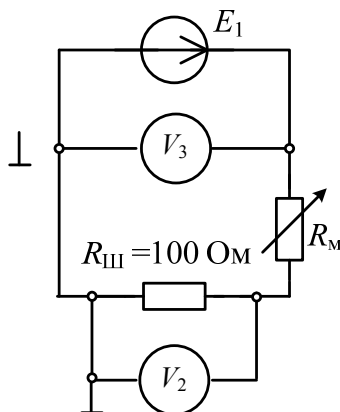


Рис. 1.5

Установить регулятором « $E = var$ » максимальное значение ЭДС E_1 (крайнее правое положение регулятора); $f = 2$ кГц.

Внимание! Все регуляторы на стенде поворачивать плавно. Значение R_M изменять в пределах от 20 до 5120 Ом. Напряжение на выходе генератора измеряется вольтметром V_3 , на шунте – вольтметром V_2 . Результаты измерений занести в табл. 1.1.

4. Установить значение $E_1 = 0,5 E_{1\text{ макс}}$ (принять показание V_3 при $R_M = 5120$ Ом равным ЭДС генератора, так как внутреннее сопротивление генератора много меньше этого сопротивления). Снять внешнюю характеристику генератора, результаты занести в табл. 1.2, аналогичную табл. 1.1.

Таблица 1.1

$E_1 = \dots; f = 2 \text{ кГц}$									
$0 R_M, \text{ Ом}$	20	40	80	160	320	640	1250	2560	5120
$U_H = U_3, \text{ В}$									
$U_{III} = U_2, \text{ В}$									
$I_H = U_{III}/R_{III}, \text{ мА}$									

Таблица 1.2

$E_1 = \dots; f = 2 \text{ кГц}$									
$0 R_M, \text{ Ом}$	20	40	80	160	320	640	1250	2560	5120
$U_H = U_3, \text{ В}$									
$U_{III} = U_2, \text{ В}$									
$I_H = U_{III}/R_{III}, \text{ мА}$									

Таблица 1.3

$E_1 = \dots; f = 2 \text{ кГц}$									
$0 R_M, \text{ Ом}$	20	40	80	160	320	640	1250	2560	5120
$U_H = U_3, \text{ В}$									
$U_{III} = U_2, \text{ В}$									
$I_H = U_{III}/R_{III}, \text{ мА}$									

5. Снять внешнюю характеристику независимого источника тока. В схеме выполнить следующие переключения: проводники, идущие к источнику E_1 , перенести на зажимы источника J , причем проводник, идущий на корпусной зажим источника напряжения, перенести на левый зажим источника тока, потенциальный – на правый. Сопротивление R_M изменить от 0 до 5120 Ом.

Результаты измерений занести в табл. 1.3., аналогичную табл. 1.1.

6. Снять зависимость тока управляемого источника тока от величины ЭДС E_1 . Перевести переключатель «Пх» в нижнее положение. Вольтметр V_3 подключить к выходным зажимам E_1 . На магазине R_M установить максимальное сопротивление. Изменять напряжение

E_1 от 0 до максимального значения, измерять ток источника тока. Результаты измерений занести в табл. 1.4.

Таблица 1.4

$R_M = 5120 \text{ Ом}$				
$E_1, \text{ В}$				
$U_{III} = U_2, \text{ В}$				
$J = U_{III}/R_{III}, \text{ мА}$				

Обработка результатов измерений

1. Построить внешние характеристики источника ЭДС (обе на одном графике) и источника тока (на отдельном). Определить по характеристикам значение ЭДС источника, его внутреннее сопротивление; значение тока источника J и его проводимость g .

2. По результатам измерений п. 1 рассчитать и построить (на одном графике) зависимости $P_H(I)$, $P_\Gamma(I)$, $\eta(I)$. Результаты расчета занести в табл. 1.5. Доказать, что $P_{H \text{ макс}}$ имеет место при $R_H = R_\Gamma$.

3. Построить управляющую характеристику зависимого источника тока $J(E_1)$ по результатам измерений п. 5. Сделать выводы о линейности полученной зависимости.

Таблица 1.5

$R_M, \text{ Ом}$	20	40	80	160	320	640	1250	2560	5120
$I_H, \text{ мА}$ (из табл. 1.1)									
$P_H, \text{ мВт}$									
$P_\Gamma, \text{ мВт}$									
η									

4. Сделать выводы по работе. В выводах проанализируйте режим согласованной нагрузки: сравните данные, полученные по эксперименту и рассчитанные для этого режима.

Вопросы для самопроверки

1. Начертите схемы замещения и внешние характеристики источника тока и источника напряжения: идеальных, реальных.

2. Запишите условие эквивалентности реального источника ЭДС и источника тока (формулы преобразования).

3. Назовите режимы работы генерирующих устройств.

4. Какой режим называется согласованным? Как согласовать нагрузку с источником?

5. Каков физический смысл коэффициента полезного действия η , назовите пределы его изменения.

6. Источник ЭДС $E = 10$ В, $R_i = 5$ Ом нагружен на сопротивление в два раза больше сопротивления в согласованном режиме. Рассчитать мощность источника ЭДС P_E и эквивалентного ему источника тока P_J .

7. Что такое управляемый источник питания, чем он отличается от неуправляемого?

8. Как проверить исправность соединительных проводов?

9. Как экспериментально измерить ЭДС источника, его внутреннее сопротивление?

10. Каким образом экспериментально определяют потенциальный и корпусной зажимы вольтметров?

11. Каким образом измеряют токи с помощью электронных вольтметров? Как выбрать сопротивление измерительных резисторов?

12. Почему при измерении напряжений (токов) желательно, чтобы стрелка измерительного прибора находилась в правой половине шкалы?

13. Изложите порядок включения стенда. В каком положении должны находиться тумблеры «Генератор» на блоке Γ_1 , «Анализатор спектра» на блоке питания, «Вход X» на блоке ЭК, переключатели «Ослабление» на каналах ЭК, пределы измерения вольтметров?

Задачи к защите данной работы приведены в приложении 3.

Лабораторно-расчетная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить;
- 2) изучить описание данной работы;
- 3) выполнить предварительный расчет и подготовить протокол отчета;
- 4) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы: изучить характеристики резистивных делителей напряжения при различных нагрузках.

Краткие пояснения

Цепи, имеющие две пары внешних зажимов, называются четырех-полюсниками. Коэффициент передачи по напряжению: $H_U = U_2/U_1$, где U_2 – напряжение на выходных (нагрузочных) зажимах; U_1 – на входных. Коэффициент передачи, как и любая функция цепи, зависит только от конфигурации и величины сопротивлений схемы. Расчет коэффициента передачи выполняется любым подходящим методом. Рассчитаем H_U для мостовой схемы (рис. 2.1) в режиме холостого хода:

$$I_1 = I_4 = \frac{U_1}{R_1 + R_4}; \quad I_3 = I_2 = \frac{U_1}{R_2 + R_3};$$

$$U_2 = I_3 R_3 - I_1 R_1 = U_1 \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} - R_1 (R_1 + R_4) \right) = U_1 \frac{R_3 R_4 - R_1 R_2}{(R_2 + R_3)(R_1 R_2)};$$

$$H_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_3 R_4 - R_1 R_2}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)}.$$

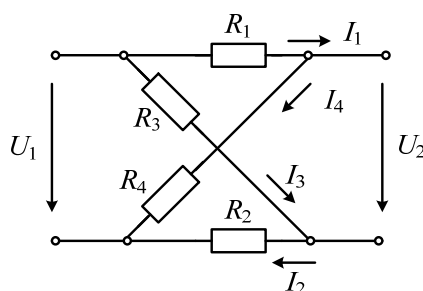


Рис. 2.1

Исследуем, каким образом изменяется H_U , если сопротивление R_3 изменяется от 0 до ∞ :

$$1. R_3 = 0; H_U = \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

$$2. R_3 = \infty; H_U = \frac{R_4 - R_1 R_2 / R_3}{(1 + R_2 / R_3)(R_1 + R_4)} = \frac{R_4}{R_1 + R_4}.$$

$$3. H_U = 0; \text{ тогда } R_3 R_4 - R_1 R_2 \text{ и } R_3 = R_1 R_2 / R_4.$$

Зависимость (качественная) $H_U(R_3)$ показана на рис. 2.2.

Таким образом, мостовой четырехполюсник является делителем напряжения, изменяющим выходное напряжение как по величине, так и по знаку. Очевидно, что подключение нагрузки к выходным зажимам четырехполюсника изменяет величину коэффициента передачи. Так, коэффициент передачи Г-образного четырехполюсника в режиме ХХ ($R_H = \infty$) (рис. 2.3) равен:

$$H_{UX} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

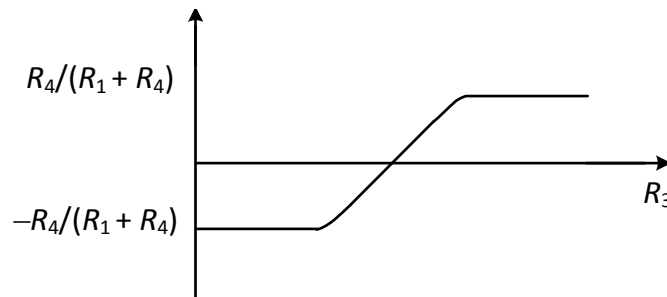


Рис. 2.2

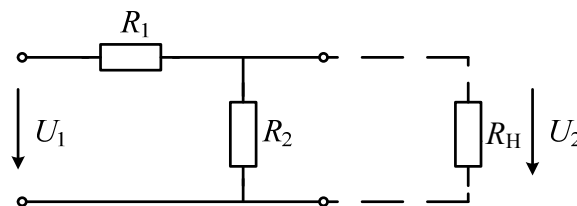


Рис. 2.3

Рассчитаем H_U нагруженного четырехполюсника методом узловых потенциалов:

$$U_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_H} \right) = \frac{U_1}{R_1};$$

$$U_2 \frac{R_2 R_H + R_1 R_H + R_1 R_2}{R_1 R_2 R_H} = \frac{U_1}{R_1},$$

$$H_U = \frac{R_2 R_H}{(R_2 + R_1) R_H + R_1 R_2}.$$

Таким образом, при подключении нагрузок коэффициент передачи по напряжению меньше, чем у ненагруженного четырехполюсника.

Задание на предварительный расчет

1. На рис. 2.4, а показана схема делителя напряжения с плавной регулировкой (потенциометр). Используя схему замещения на рис. 2.4, б, рассчитать и построить зависимость $H_U = f(R_1/R)$ для $R_H = \infty$; $R_H = 0,1R$. Предварительно получить расчетную формулу. Результаты расчета занести в табл. 2.1.

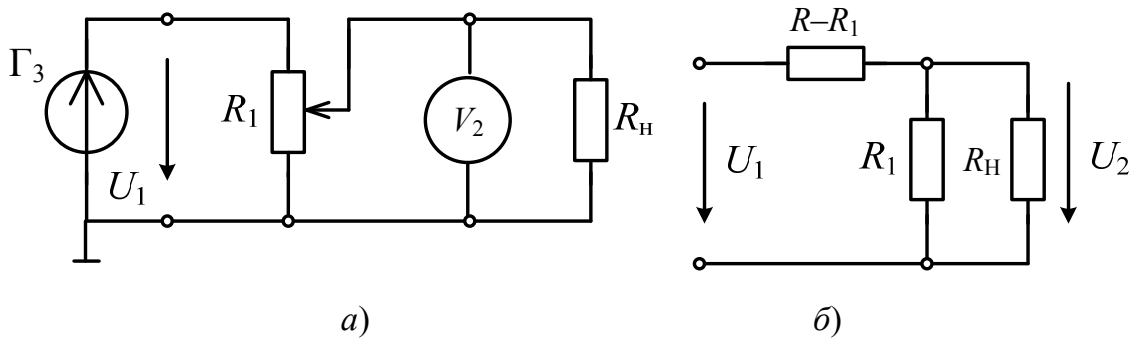


Рис. 2.4

2. Рассчитать и построить коэффициент передачи $H_U(R_2)$ для Г-образного четырехполюсника, изображенного на рис. 2.3, при $R_H = \infty$; $R = 500$ Ом; $R_2 = R_M = 40$; 80; 160; 320; 640; 1280; 5260 Ом. Результаты расчета занести в табл. 2.2

Задание на эксперимент

1. Снять зависимость $H_U = f(R_1/R)$ при $R_H = \infty$; $R_H = 0,1R$. Собрать цепь по схеме на рис. 2.4, а. В качестве нагрузочного сопротивления использовать магазин сопротивлений R_M .

Таблица 2.1

$U_1 = \dots; R_H = \infty$				$U_1 = \dots; R_H = 0,1R$			
Предварительный расчет		Эксперимент		Предварительный расчет		Эксперимент	
$\alpha = R_1/R$	H_U	$U_2, В$	H_U	$\alpha = R_1/R$	H_U	$U_2, В$	H_U
0,1							
0,2							
0,3							
0,4							
0,5							
0,6							
0,7							
0,8							
0,9							
1,0							

Таблица 2.2

$U_1 = \dots; R_H = \infty; R_1 = 500 \text{ Ом}$				
$R_2, \text{ Ом}$	Предварительный расчет		Эксперимент	
	H_U	$U_2, В$	H_U	$U_2, В$
40				
80				
160				
320				
640				
1280				
2560				

Методика эксперимента. Установить на R_1 сопротивление, близкое к $0,1R$. В режиме ХХ (нагрузка отключена) установить движок потенциометра в режим наибольшего сопротивления (повернуть до отказа по часовой стрелке). Регулятор выходного напряжения установить в такое положение, при котором $U_1 = 1 \text{ В}$. Показание вольтметра V_2 занести в табл. 2.1. Подключить нагрузку, измерить U_2 , занести в табл. 2.1.

Снова отключить нагрузку. Движок делителя (при $U_1 = 1 \text{ В}$) установить в такое положение, чтобы $U_2 = 0,9 \text{ В}$. Так как в режиме ХХ $H_U = R_1/R$, то при этом $R_1 = 0,9R$, $H_U = 0,9$. Подключить нагрузку, измерить U_2 . Эксперимент повторить для всех значений R_H , указанных в табл. 2.1.

2. Снять зависимость коэффициента передачи по напряжению $H_U(R_2)$ для Г-образного четырехполюсника в режиме холостого хода. Для этого собрать схему на рис. 2.5. Напряжение U_1 выбрать в преде-

лах (1–2,5) В. Изменять сопротивление R_2 от 40 до 2560 Ом, занести показание вольтметра V_2 в табл. 2.2.

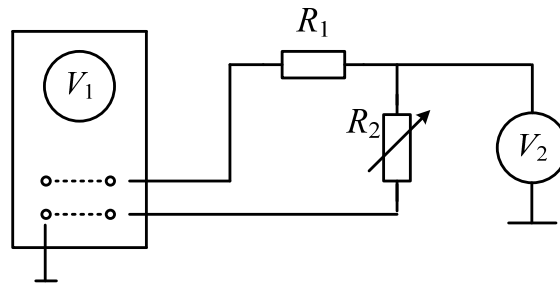


Рис. 2.5

Обработка результатов измерений

1. Построить рассчитанные и полученные экспериментально зависимости коэффициента передачи $H_U(R_1/R)$ для $R_H = \infty$ и $R_H = 0,1 R$ на одном графике. Сравнить, сделать выводы о влиянии нагрузки на форму характеристики.

2. Построить рассчитанную и полученную экспериментально зависимость $H_U(R_2)$ по схеме на рис. 2.5.

3. Сделать выводы по работе. Пояснить, чем объясняется разница в кривых коэффициента передачи делителей с плавной регулировкой и Г-образного, если обе цепи работают в режиме холостого хода.

Вопросы для самопроверки

1. Для каких целей применяются делители напряжения? Приведите схемы мостового, Г-образного и плавного делителей напряжения.

2. Рассчитайте коэффициент передачи по напряжению для схем на рис. 2.6 и 2.7.

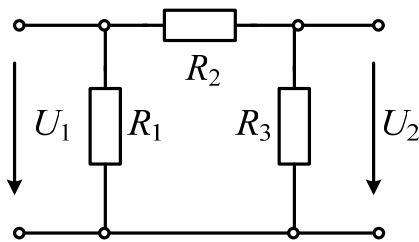


Рис. 2.6

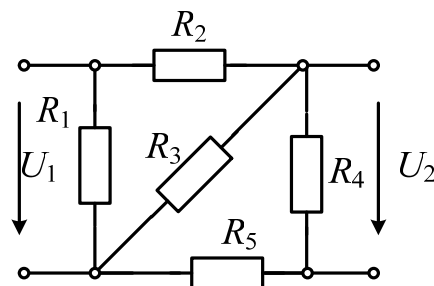


Рис. 2.7

3. Используя полученные выражения для мостового делителя на рис. 2.1 построить: а) $H_U(R_1)$; б) $H_U(R_2)$; в) $H_U(R_4)$.

4. Получить выражение и построить зависимость $H_U(R_2)$ в схеме на рис. 2.8 при $R_2 = (0 \div \infty)$.

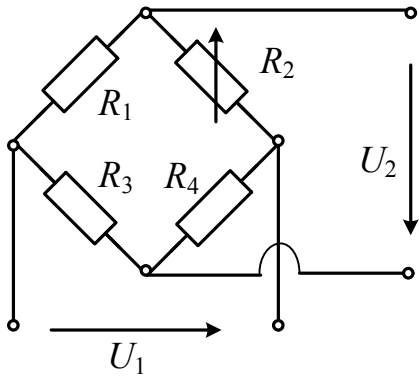


Рис. 2.8

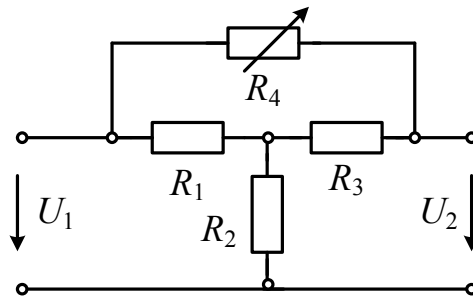


Рис. 2.9

5. Найти H_U и построить соответствующие кривые для схем на рис. 2.9–2.11.

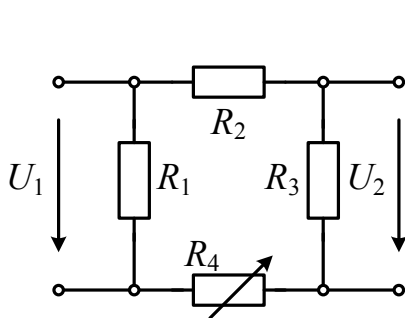


Рис. 2.10

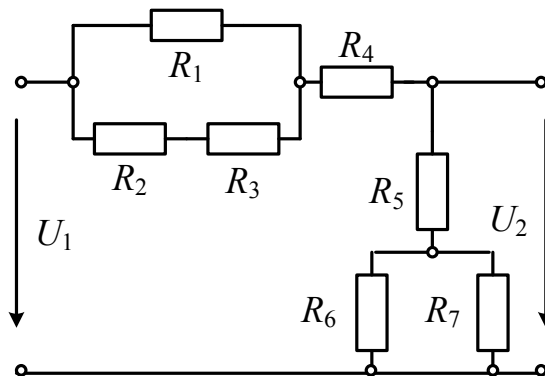


Рис. 2.11

Лабораторно-расчетная работа № 3

РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При подготовке к выполнению работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 10–40];
- 2) изучить описание к данной работе;
- 3) выполнить предварительный расчет и подготовить протокол отчета;
- 4) ответить на вопросы самопроверки.

Цель работы:

1. Научиться экспериментально определять потенциалы точек в резистивных цепях.
2. Экспериментальная проверка законов Кирхгофа, принципа наложения и принципа взаимности в линейных цепях.
3. Расчет и экспериментальное определение функций цепи – входных и взаимных проводимостей, коэффициента передачи по току.

Задание на предварительный расчет

Для схемы на рис. 3.1 выполнить следующие расчеты:

1. Определить токи в ветвях методом узловых потенциалов (МУП) и методом контурных токов (МКТ). Составить баланс мощностей. Результаты расчета занести в табл. 3.2.
2. Рассчитать потенциалы всех точек, приняв $\varphi_0 = 0$, и построить потенциальную диаграмму для всех контуров на одном графике. Результаты расчета занести в табл. 3.3.
3. Рассчитать токи в схеме методом наложения. Сравнить результаты с п. 1. Результаты расчета занести в табл. 3.4.
4. Рассчитать входные и взаимные проводимости, а также коэффициент передачи по току для каждой ветви. Результаты расчета занести в табл. 3.5.
5. Используя функции цепи, полученные в п. 4, рассчитать токи в ветвях, выбрав значение ЭДС источника $0,6 E_{1 \text{ макс}}$. Результаты расчета занести в табл. 3.4.

Выбор исходных данных

Величину ЭДС источника выбрать максимальным $E_{1 \text{ макс}}$. Значение $E_{1 \text{ макс}}$ и R_{Γ} и источника тока J взять по результатам измерений в лабораторно-расчетной работе № 1. Направление тока источника J выбрать: для стендов с нечетными номерами – к точке 8; с четными – к точке 7. Значения R_4, R_2 приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Данные к лабораторно-расчетной работе № 3

Номер варианта		Номер стенда												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	R_2	640	1280	2560	5120	1280	2560	640	1280	2560	640	1280	2560	5120
	R_4	1560	2100	1400	2600	1800	1100	1700	1600	1200	1400	1750	1400	2000
2	R_2	1280	2560	2560	1280	5120	2560	1280	640	2560	1280	640	2560	1280
	R_4	1800	3100	1150	1900	2850	950	2100	1350	1000	2300	1750	1100	2700
3	R_2	2560	1280	5120	2560	1280	2560	2560	1280	640	2560	1280	5120	2560
	R_4	1450	2000	2700	1300	2100	2800	1250	2200	1900	1100	2300	3150	1950
4	R_2	5120	2560	1280	1280	2560	5120	2560	640	5120	1280	1280	2560	640
	R_4	2800	2200	1950	2450	1700	2100	2000	1350	2300	1750	1800	2400	1800
5	R_2	160	320	640	160	320	640	160	320	640	160	640	320	320
	R_4	170	100	70	160	90	85	150	140	75	120	70	110	90
6	R_2	640	160	320	640	160	320	640	160	320	640	160	320	640
	R_4	65	140	90	70	145	95	75	150	100	60	155	105	80

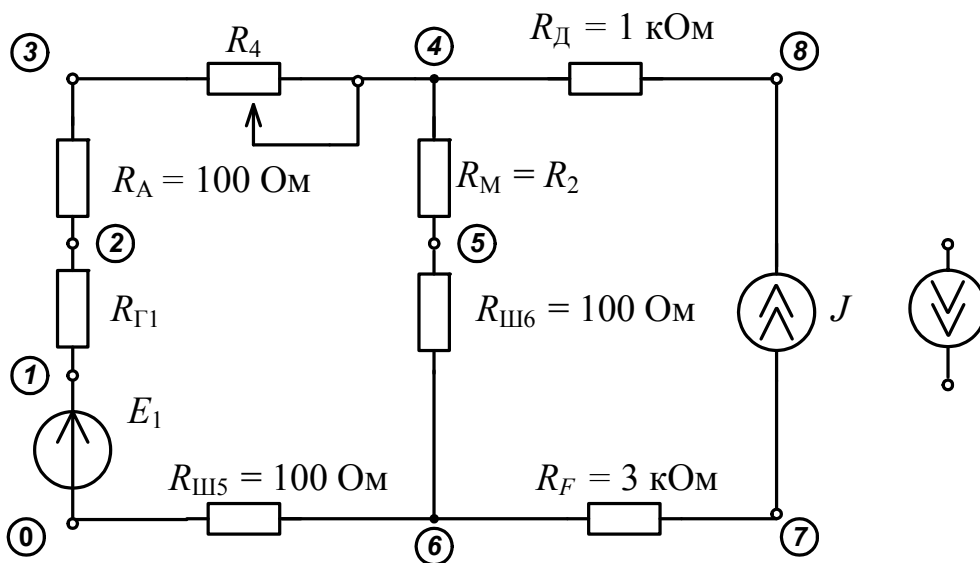


Рис. 3.1

Таблица 3.2

$$E_1 = E_{1\text{макс}} = R_1 = R_2 = J = \dots$$

Значение токов	МУП	МКТ	ЭКСПЕРИМЕНТ
$I_1, \text{мА}$			
$I_2, \text{мА}$			
$I_3, \text{мА}$			

Таблица 3.3

$\varphi, \text{В}$		φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8
Расчет									
Экс- пери- мент	$E_1 = E_{1\text{макс}}; J =$								
	Выведен J								
	Выведен E								
	$E_1 = 0,6E_{1\text{макс}}$ $J =$								

Таблица 3.4

Значение токов		Выведен источник тока	Выведен источник ЭДС	Полный ток при $E_1 = E_{1\text{макс}}$	Полный ток при $E_1 = 0,6E_{1\text{макс}}$
$I_1, \text{мА}$	Расчет				
	Эксперимент				
$I_2, \text{мА}$	Расчет				
	Эксперимент				
$I_3, \text{мА}$	Расчет				
	Эксперимент				

Таблица 3.5

Функции 1-й ветви	$g_{11} =$	$g_{12} =$	$H_{i13} =$
Функции 2-й ветви	$g_{21} =$	$g_{22} =$	$H_{i23} =$
Функции 3-й ветви	$g_{31} =$	$g_{32} =$	$H_{i33} =$

Задание на эксперимент

1. Собрать цепь на рис. 3.1. На плату активных элементов подать напряжение от Γ_3 . Напряжение на генераторе установить (по V_1) согласно предварительному расчету; $f = 2$ кГц. Значения напряжения всех параметров в схеме выбрать в соответствии с предварительным расчетом.

2. Измерить потенциалы всех точек с помощью вольтметра V_2 . Знак потенциала (плюс или минус) определить с помощью осциллографа. Напомним, что корпусная точка осциллографа соединена с корпусной точкой источника питания Γ_3 (рис. 3.2) и вольтметра внутри стенда.

Для определения знака потенциала необходимо выполнить следующее: подключить потенциальный зажим вольтметра, соединенного с входом 2 ЭК (см. рис. 3.2), к точке 1 исследуемой схемы (выход с источника питания E_1 в режиме холостого хода). Потенциал точки 1 – выше, чем потенциал точки 0 (т. е. положителен). Установить изображение на экране так, чтобы максимум синусоиды оказался на средней линии сетки экрана (см. рис. 3.3, а).

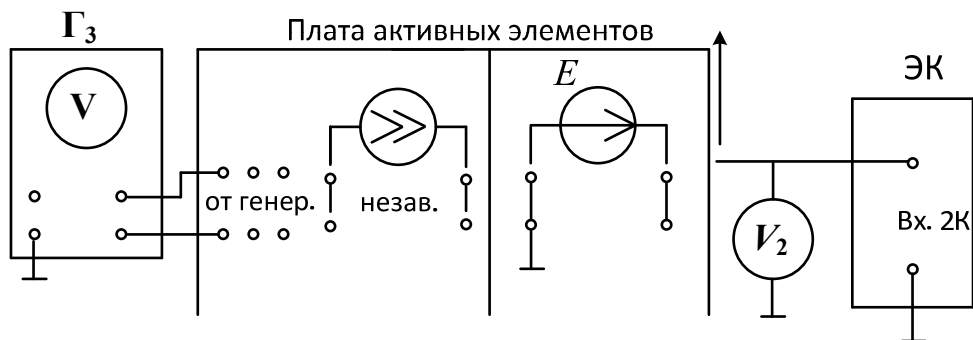


Рис. 3.2

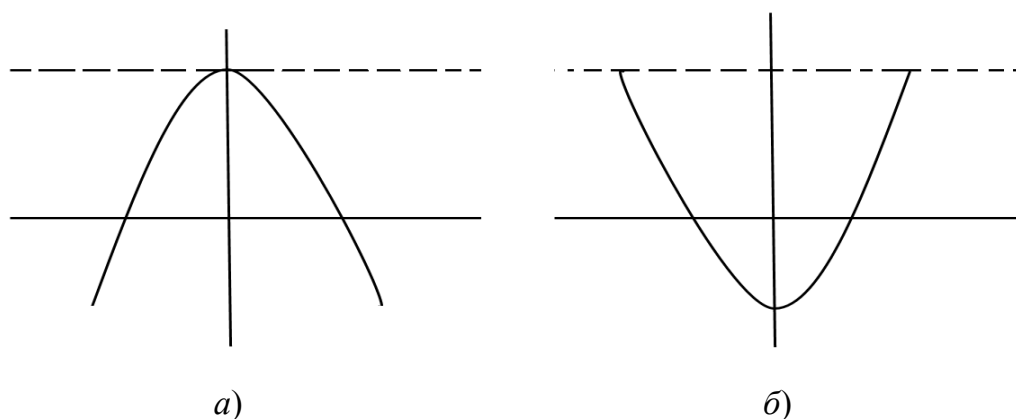


Рис. 3.3

Поскольку исследуемая цепь состоит только из резистивных элементов, то синусоида на средней линии может иметь либо максимум (положительный потенциал); либо минимум (отрицательный потенциал).

3. Измерить потенциалы узлов при выведенном источнике тока. Для этого переключатель на источнике тока установить в среднее положение. Результаты эксперимента занести в табл. 3.2.

4. Измерить потенциалы узлов при выведенном источнике ЭДС. Для этого выполнить в схеме следующие изменения: подключить источник тока, регулятором напряжения снизить ЭДС E_1 до 0 (внутреннее сопротивление источника ЭДС остается при этом в схеме). Результаты эксперимента занести в табл. 3.2.

5. Установить значение $E_1 = 0,6 E_{1 \text{ макс}}$; ток источника – максимальный. Измерить потенциалы узлов, результаты занести в табл. 3.2.

Обработка результатов измерений и выводы

1. По результатам опытов пп. 1–5 рассчитать токи в ветвях. Результаты занести в табл. 3.3.

2. В выводах по работе сравнить результаты измерений и предварительных расчетов по всем пунктам.

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.
2. Какие существуют особенности при составлении уравнений по законам Кирхгофа при наличии в цепи источников тока?
3. Изложите порядок расчета цепей методом контурных токов.

4. Изложите порядок расчета цепей методом узловых потенциалов.
5. Изложите порядок расчета цепей методом наложения.
6. Сформулируйте принцип наложения. В каких цепях он работает?
7. Как определить знак потенциала в цепи с помощью электронного осциллографа?
8. Как изменятся токи в схеме на рис. 3.1, если сопротивление R_D увеличится в 2 раза?
9. Рассчитайте токи в схеме на рис. 3.4.

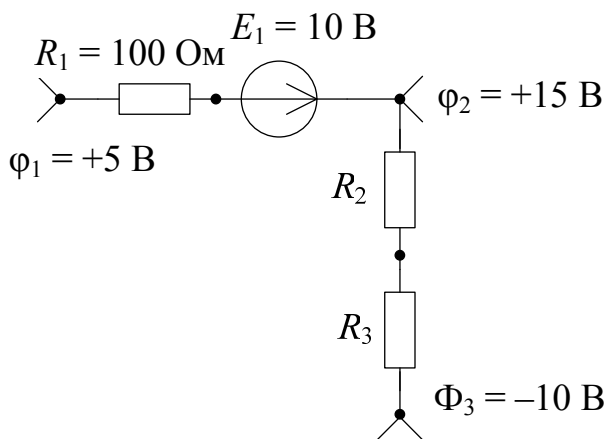


Рис. 3.4

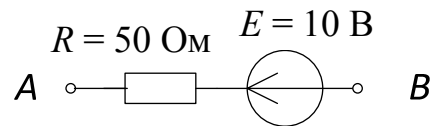


Рис. 3.5

10. При каком значении тока в схеме на рис. 3.5 $U_{AB} = 0$?
 11. Дайте определение функции цепи. Как ее рассчитать?
 12. Поясните, каким образом с помощью вольтметра можно найти обрыв цепи?
- Задачи к защите данной работы приведены в приложении 4.

Лабораторно-расчетная работа № 4

АКТИВНЫЙ ДВУХПОЛЮСНИК. ЛИНЕЙНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 33–60] или [2, с. 24–28, 36–41], или [3, с. 238–242];
- 2) изучить описание к данной работе;
- 3) выполнить предварительный расчет и подготовить протокол отчета;
- 4) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы:

1. Экспериментальная проверка теоремы об эквивалентном генераторе.
2. Исследование передачи энергии от активного двухполюсника к нагрузке.
3. Определение зависимостей между меняющимися величинами (токами, напряжениями).

Краткие пояснения

При изменении какого-либо параметра одной из ветвей (ЭДС, тока источника или сопротивления) напряжения или токи любых ветвей связаны линейным соотношением вида:

$$y = a + bx,$$

где x, y – изменяющиеся токи или напряжения; a, b – постоянные коэффициенты, которые определяют расчетным или опытным путем, если известны x, y двух режимов.

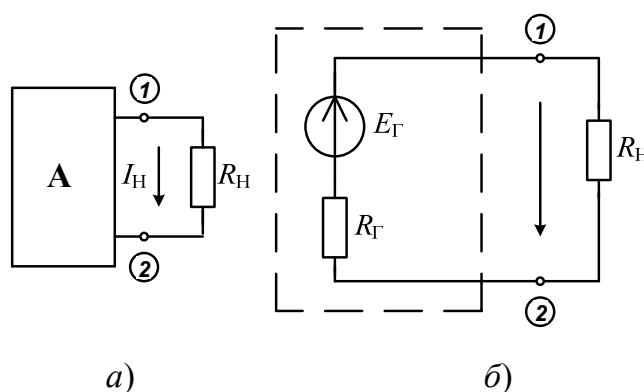


Рис. 4.1

На рис. 4.1, а показан активный двухполюсник, к зажимам которого присоединена нагрузка R_H .

Теорема об эквивалентном источнике: если активный двухполюсник, к которому присоединена нагрузка R_H , заменить источником ЭДС E_Γ , равным напряжению на разомкнутой ветви U_{12X} , и сопротивлением R_Γ , равным входному сопротивлению активного двухполюсника $R_{BX1,2}$, то ток в этой ветви не изменится. Тогда ток в нагрузке (см. рис. 4.1, б) можно рассчитать по закону Ома:

$$I_H = \frac{E_\Gamma}{R_\Gamma + R_H}.$$

В режиме короткого замыкания нагрузки $R_H = 0$; $I_{HK} = E_\Gamma/R_\Gamma$.
Отсюда

$$R_\Gamma = R_{BX1,2} = E_\Gamma/I_{HK} = U_{X1,2}/I_{HK}.$$

Таким образом, параметры эквивалентного генератора определяют из режимов холостого хода ($U_{X1,2}$) и опыта короткого замыкания (I_{HK})

В режиме согласованной нагрузки $R_H = R_\Gamma = R_{BX1,2}$ от активного двухполюсника к нагрузке передается максимальная мощность. В этом режиме ток через нагрузку равен половине тока короткого замыкания: $I_{HC} = E_\Gamma/2R_\Gamma = I_{HK}/2$.

Задание на предварительный расчет

1. В схеме на рис. 4.2, рассматривая цепь относительно зажимов 1–2 как активный двухполюсник, определить параметры эквивалентного генератора $E_\Gamma = U_{X1,2}$ и $R_\Gamma = R_{BX1,2}$. Значение параметров взять на стенде данных. Результаты расчета занести в табл. 4.1.

2. Рассчитать R_H в согласованном режиме. Определить ток в нагрузке для двух режимов: согласованный I_{HC} и режим короткого замыкания I_{HK} . Найти отношение I_{HK}/I_{HC} .

Таблица 4.1

$U_1 = 2 \text{ В}; J = \dots; R_1 = \dots; R_2 = \dots; R_M = \dots$				
Расчет	$E_\Gamma =$	$R_\Gamma =$	$I_{HK} =$	$I_{HC} =$
Эксперимент	$U_{XX1,2} =$	$R_{BX1,2} =$	$I_{HK} =$	$I_{HC} =$

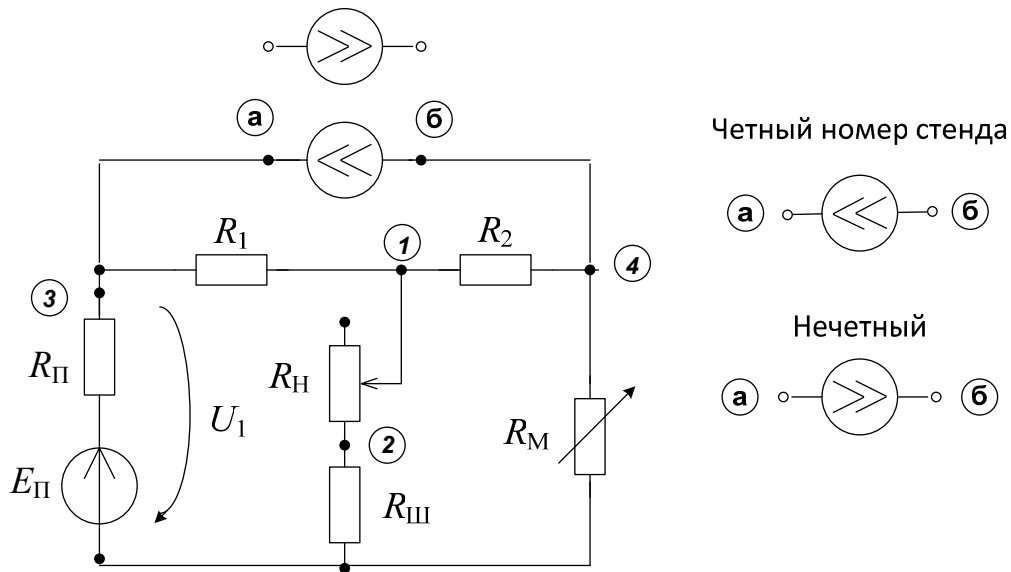


Рис. 4.2

Задание на эксперимент

1. Собрать схему на рис. 4.2. Значение напряжения на источнике ЭДС, ток источника тока, сопротивления R_1 , R_2 , R_M выбрать согласно данным предварительного расчета (см. на стенде в лаборатории). Измерительная часть схемы показана на рис. 4.3.

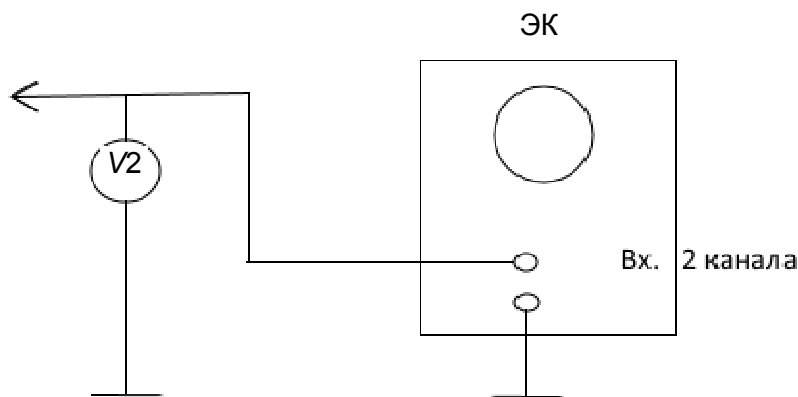


Рис. 4.3

Осциллограф необходим для установления знака измеряемого потенциала. Методика измерения была рассмотрена в лабораторно-расчетной работе № 3.

2. Подключить потенциальный зажим измерительной схемы к точке 2 схемы на рис. 4.2. Измерить ток короткого замыкания нагрузки. Для этого регулятор потенциометра плавно повернуть в левое

крайнее положение. Результаты измерения занести в табл. 4.1. Ток в нагрузке рассчитывать по закону Ома: $I_H = U_{ш}/R_{ш}$.

3. Поворачивая регулятор потенциометра, устанавливать значения тока в нагрузке согласно табл. 4.2 (рассчитать соответствующие значения напряжения на шунте, занести в табл. 4.2). Измерять потенциал точек 1 и 4, результаты заносить в табл. 4.2.

Таблица 4.2

I_H , мА	$I_{HK} = \dots$	$0,8 I_{HK}$	$0,6 I_{HK}$	$0,5 I_{HK}$	$0,4 I_{HK}$	$0,2 I_{HK}$	$0,1 I_{HK}$
$U_{ш}$, мВ, расчет							
U_1 , В, эксперимент							
$U_H = U_1 = U_{ш}$,							
$R_H = U_H/I_H$, Ом							
$P_H = I_H^2 R_H$, Вт							
U_4 , В, эксперимент							
$I_3 = U_4/R_M$, мА							

Методические указания к выполнению п. 3. В табл. 4.2 в первой строке указаны значения тока в нагрузке в долях I_{HK} . Рассчитайте абсолютные значения тока и занесите в таблицу. Рассчитайте напряжение на шунте, соответствующее току нагрузки. Занесите цифры в табл. 4.2. Теперь приступайте к выполнению эксперимента.

Обработка результатов измерений

1. По результатам опытов п. 3 рассчитать U_H , R_H , мощность нагрузки $P_H = I_H^2 R_H$ для каждого значения тока. Результаты расчетов занести в табл. 4.3.

2. На одном графике построить зависимость $U_H = f(I_H)$; $P_H = f(I_H)$. Сравнить полученные зависимости с аналогичными для источника ЭДС в лабораторно-расчетной работе № 1. Проанализируйте точку, соответствующую максимальной мощности, выделяющейся в нагрузке: чему равно R_H , I_H , U_H в этой точке?

3. Постройте зависимость тока $I_3(I_H)$. Используя результаты опытов в режиме ХХ ($I_H = 0$) и КЗ ($I_H = I_{HK}$), рассчитайте коэффициенты линейной зависимости: $I_3 = a + bI_H$. Постройте полученную зависимость на одном графике с экспериментальной.

4. Сделайте обоснованные выводы по работе.

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте теорему об эквивалентном генераторе.
2. Как экспериментально определить ЭДС эквивалентного генератора, его внутреннее сопротивление?
3. Запишите формулу линейной зависимости между любыми напряжениям и токами при изменении любого сопротивления схемы.
4. Запишите и обоснуйте условие передачи максимальной мощности от активного двухполюсника к нагрузке.
5. Чему равен ток в нагрузке в долях от тока короткого замыкания в согласованном режиме?
6. Покажите качественно зависимость $U_H(I_H)$ при изменении R_H от 0 до ∞ в схеме на рис. 4.1.
7. Нарисуйте качественно зависимость $P_H(I_H)$ при изменении R_H от 0 до ∞ в схеме на рис. 4.1.

Лабораторно-расчетная работа № 5

ПРОСТЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 58–80] или [2, с. 61–86], или [3, с. 187–191];
- 2) изучить описание к лабораторной работе и подготовить протокол отчета;
- 3) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы:

1. Ознакомиться с работой фазометра, научиться измерять разность фаз с помощью осциллографа.
2. Научиться экспериментально определять параметры пассивного двухполюсника.
3. Исследовать частотные характеристики цепей с одним реактивным элементом.

Краткие пояснения

Пассивные двухполюсники состоят из резисторов, конденсаторов и катушек индуктивностей.

Под резистивным элементом электрической цепи или активным элементом понимают идеализированный элемент, в котором происходит только необратимое преобразование электромагнитной энергии в теплоту или другие виды энергии. Условное графическое изображение элемента представлено на рис. 5.1, а.

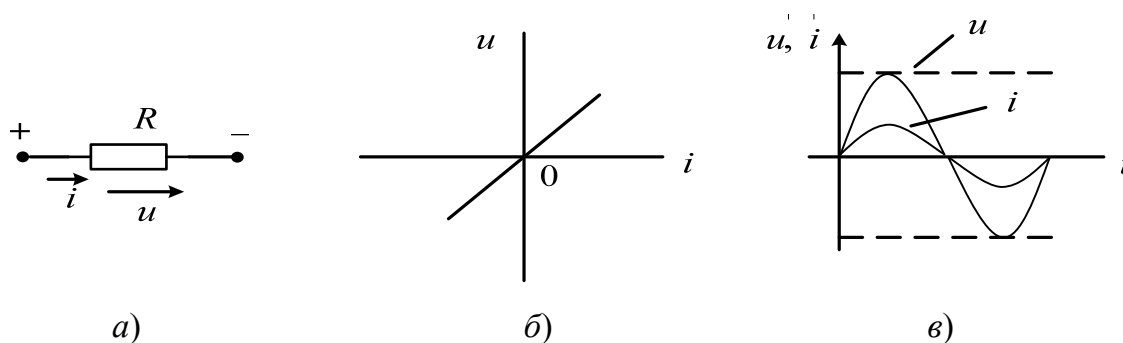


Рис. 5.1

Вольт-амперная характеристика линейного резистора представлена на рис. 5.1, б и форма напряжения и тока – на рис. 5.1, в. Связь между напряжением и током подчиняется закону Ома: $u = Ri$.

Индуктивным элементом электрической цепи называют идеализированный элемент, в котором происходит запасание только магнитной энергии. Условное графическое изображение индуктивности представлено на рис. 5.2, а.

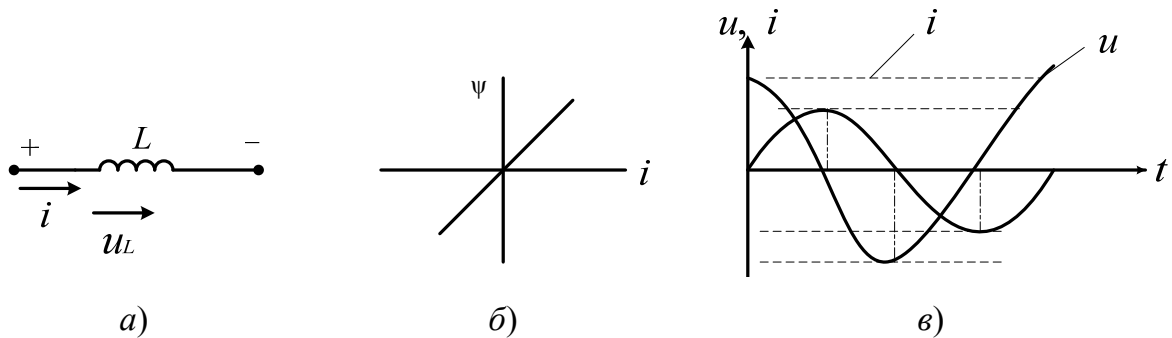


Рис. 5.2

Для линейной катушки связь между током и возбуждаемым током потокоцеплением линейна: $\psi = Li$. Коэффициент пропорциональности $L = \psi/i$ называется индуктивностью катушки, измеряется в Генри. Напряжение на индуктивности определяется законом электромагнитной индукции:

$$u_L = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d}{dt}(Li) = L \frac{di}{dt} = -e_L, \quad (5.1)$$

где e_L – ЭДС самоиндукции. На рис. 5.2, в показаны напряжение и ток индуктивности: напряжение опережает ток на 90° .

Под емкостным элементом электрической цепи понимают идеализированный элемент, в котором происходит запасание только электрической энергии. Если к конденсатору приложено напряжение, то на его обкладках появляются заряды, величина которых пропорциональна напряжению: $q = Cu$. Ток через конденсатор:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}, \text{ или } u = \frac{1}{C} \int idt. \quad (5.2)$$

На рис. 5.3, а показано условное графическое изображение конденсатора, на рис. 5.3, в – напряжение и ток в конденсаторе. Напряжение отстает от тока на 90° .

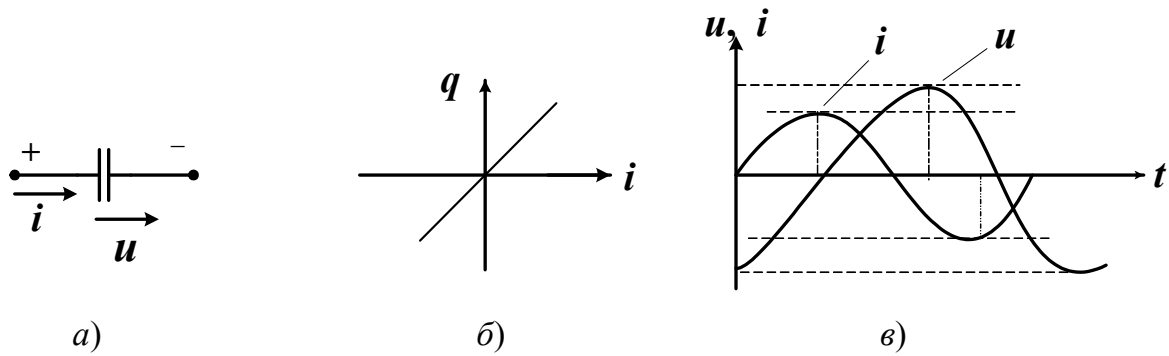


Рис. 5.3

Измерение параметров приемника с помощью вольтметра и фазометра

Согласно этому методу измеряется напряжение, ток и разность фаз двухполюсника (рис. 5.7). Полное входное сопротивление рассчитывается по закону Ома:

$$Z = \frac{Ue^{j\psi_u}}{Ie^{j\psi_i}} = \frac{U}{I} e^{j\varphi} = R \pm jX, \quad (5.3)$$

где $\varphi = \psi_u - \psi_i$ – разность начальных фаз напряжения и тока; $R = Z \cos \varphi$ – активное сопротивление; $\pm X = Z \sin \varphi$ – реактивное (знак плюс соответствует индуктивности, минус – емкости).

Знак разности фаз определяется с помощью фазометра или осциллографа.

Проводимость двухполюсника – величина, обратная сопротивлению:

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{Ze^{j\varphi}} = g \mp jb = \frac{R}{Z^2} \mp j \frac{X}{Z^2}. \quad (5.4)$$

Измерение параметров приемника с помощью трех вольтметров

Пусть приемник представляет собой последовательное соединение реальной катушки и резистора (рис. 5.4).

Сопротивление резистора R известно. Определим параметры катушки R_K и L .

На рис. 5.4, б показана векторная диаграмма цепи. По результатам измерений известны три напряжения: $U_{V1} = U$; $U_{V2} = U_R$; $U_{V3} = U_K$.

По теореме косинусов:

$$U^2 + U_R^2 - 2UU_R \cos \varphi_{\text{BX}} = U_K^2. \quad (5.5)$$

Откуда

$$\cos \varphi_{\text{BX}} = \frac{U^2 + U_R^2 - U_K^2}{2UU_R}. \quad (5.6)$$

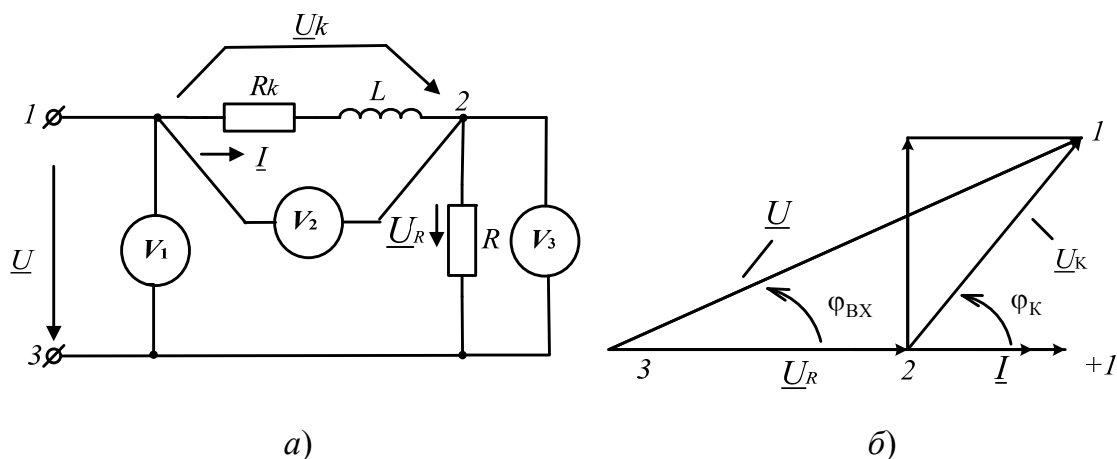


Рис. 5.4

Ток в цепи рассчитаем по закону Ома: $I = \frac{U_R}{R}$.

Комплексное входное сопротивление:

$$\underline{Z}_{\text{BX}} = \frac{U}{I} e^{j\varphi_{\text{BX}}} = R_{\text{BX}} + jX_{\text{BX}}, \quad (5.7)$$

где $R_{\text{BX}} = R_K + R$; $R_K = R_{\text{BX}} - R$; $X_K = X_{\text{BX}}$; $L = \frac{X_K}{2\pi f}$; f – частота входного напряжения.

Задание на эксперимент

1. Собрать схему на рис. 5.5. Номер катушки и величину R_{III} задает преподаватель. Установить на генераторе частоту $f = 2$ кГц, входное напряжение $V_1 = 2$ В.

Показания $V_2(U_{\text{III}})$ и фазометра занести в табл. 5.1. Зарисовать осциллограмму входного напряжения и тока на одном графике. Повторить эксперимент на частотах 3, 4, 6 кГц.

2. Собрать схему на рис. 5.6. Установить на генераторе частоту $f = 2$ кГц, выходное напряжение по вольтметру $V_1 = 2$ В. Показание вольтметра $V_2(U_K)$ занести в табл. 5.1. Повторить эксперимент на частотах 3, 4, 6 кГц.

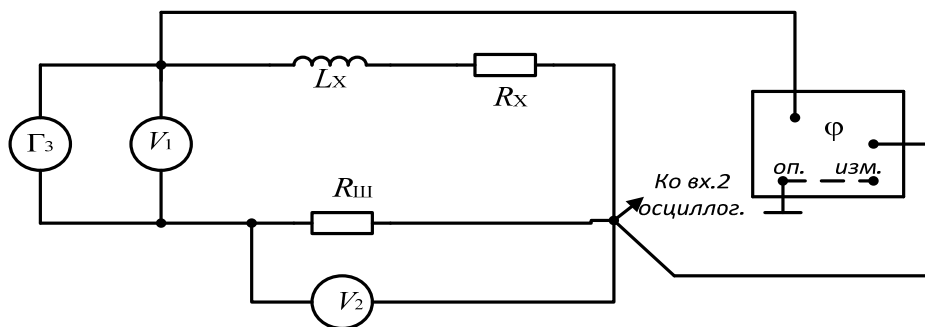


Рис. 5.5

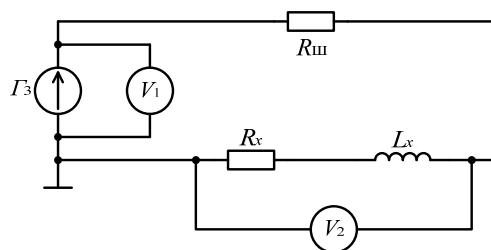


Рис. 5.6

3. Собрать схему на рис. 5.5, только вместо катушки включить конденсатор C_X (по указанию преподавателя). Выполнить эксперимент аналогично п. 1. Результаты занести в табл. 5.2 (аналогичную табл. 5.1).

4. Собрать схему на рис. 5.6. Вместо катушки включить конденсатор. Выполнить эксперимент аналогично п. 2. Результаты занести в табл. 5.2.

Таблица 5.1

$U_1 = \dots; R_{ш} = \dots$												
Эксперимент			Расчет по экспериментальным данным									
f	$U_{ш}$	φ	U_K	I	$\varphi_{вх}$	Z	R_K	X_K	L	Y	g	b
кГц	В	Град	В	мА	град	Ом	Ом	Ом	Гн	См	См	См
2												
3												
4												
6												

Таблица 5.2

$U_1 = \dots; R_{ш} = \dots$												
Эксперимент			Расчет по экспериментальным данным									
f	$U_{ш}$	φ	U_K	I	$\varphi_{вх}$	Z	R_K	X_K	L	Y	g	b
кГц	В	Град	В	мА	град	Ом	Ом	Ом	Гн	См	См	См
2												
3												
4												
6												

Обработка результатов измерений

1. Рассчитать по результатам эксперимента параметры катушки и конденсатора. Расчет выполнить двумя методами, описанными в кратких пояснениях. В табл. 5.1 $\varphi_{вх}$ – это входная разность фаз, рассчитанная из треугольника напряжений по теореме косинусов.

2. Построить частотные характеристики цепей: $Z(\omega)$, $X(\omega)$, $R(\omega)$, $Y(\omega)$, $g(\omega)$, $b(\omega)$. Рядом с графиком привести аналитическое выражение частотных характеристик и их анализ по особым точкам, сравнить с экспериментом.

3. Построить векторные диаграммы цепи R, L и цепи R, C при частоте $f = 2$ кГц.

4. Сделать выводы по работе.

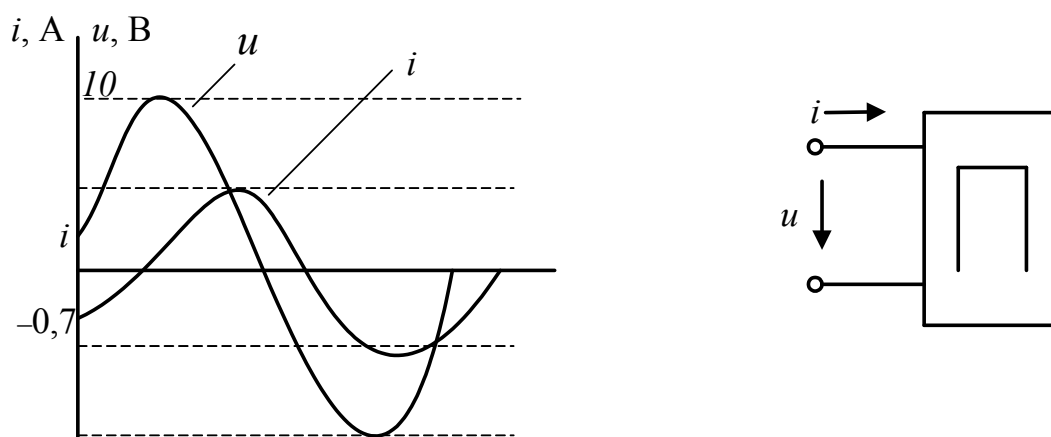


Рис. 5.7

Вопросы для самопроверки

1. Поясните способ измерения параметров катушки с помощью «трех вольтметров».

2. Что такое разность фаз цепи? Как она измеряется?
 3. Как измеряется ток в цепи переменного тока с помощью шунта? Нарисуйте схему измерения, если вольтметр имеет один заземленный и один потенциальный зажимы.
 4. Схема замещения двухполюсника содержит $R=100$ Ом, $X_C = 50$ Ом на частоте $f=10^3$ Гц. Определите емкость C , параметры параллельной схемы замещения g и b .
 5. Снята осциллограмма напряжения и тока (рис. 5.7). Рассчитайте последовательную и параллельную схемы замещения двухполюсника.
- Задачи к защите данной работы приведены в приложении 5.

Лабораторно-расчетная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ПОСТОЯННОЙ ЧАСТОТЕ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 73–80] или [2, с. 92–100], или [3, с. 191–200];
- 2) изучить описание к данной работе и подготовить протокол отчета;
- 3) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы:

1. Научиться экспериментально определять действующие значения и начальные фазы токов и напряжений в цепи.
2. Освоить расчет цепей синусоидального тока комплексным методом, построение векторных диаграмм.
3. Экспериментально проверить выполнение законов Кирхгофа.

Краткие пояснения

При подключении к цепи источников с произвольной формой напряжений расчетная система уравнений по законам Кирхгофа может быть составлена для мгновенных значений напряжений и токов. Составим систему уравнений для схемы на рис. 6.1.

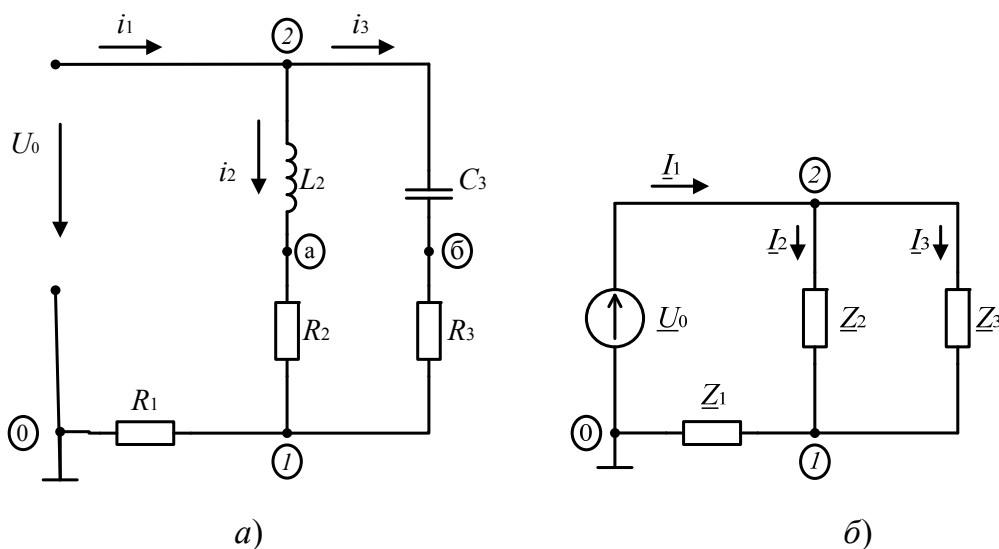


Рис. 6.1

$$\begin{aligned}
-i_1 + i_2 + i_3 &= 0; \\
R_1 i_1 + L \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 &= u_0; \\
R_1 i_1 + \frac{1}{C_3} \int i_3 dt + R_3 i_3 &= 0.
\end{aligned} \tag{6.1}$$

Если источник питания имеет синусоидальную форму $u_0 = U_m \sin(\omega t + \psi)$, то расчет цепи выполняется в комплексной форме. Переход к комплексной форме записи (или символической) выполняется по следующим правилам:

$$\begin{aligned}
i \div \underline{I} &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_0}; \\
u \div \underline{U} &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi_0}; \\
\frac{d}{dt} &\div j\omega; \\
\int dt &\div \frac{1}{j\omega}.
\end{aligned}$$

Тогда уравнения (6.1) приобретают следующий вид:

$$\left. \begin{aligned}
-\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 &= 0; \\
R_1 \underline{I}_1 + j\omega L_2 \underline{I}_2 + R_2 \underline{I}_2 &= \underline{U}_0; \\
R_1 \underline{I}_1 + \frac{1}{j\omega C_3} \underline{I}_3 + R_3 \underline{I}_3 &= \underline{U}_0.
\end{aligned} \right\} \tag{6.2}$$

Введем обозначения:

$$\underline{Z}_1 = R_1; \quad \underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2; \quad \underline{Z}_3 = R_3 - j \frac{1}{\omega C_3},$$

получим:

$$\left. \begin{aligned}
-\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 &= 0; \\
\underline{Z}_1 \underline{I}_1 + \underline{Z}_2 \underline{I}_2 &= \underline{U}_0; \\
\underline{Z}_1 \underline{I}_1 + \underline{Z}_3 \underline{I}_3 &= \underline{U}_0.
\end{aligned} \right\} \tag{6.3}$$

Комплексная схема замещения показана на рис. 6.1, б. Для комплексной схемы замещения применимы все методы расчета, рассмотренные в разделе «Цепи постоянного тока» [1]. Составим, например, расчетную систему уравнений по МУП.

Пусть в схеме заземлена точка 0. Тогда $\underline{\varphi}_2 = \underline{U}_0$, и неизвестен потенциал точки 1, уравнение для определения которого имеет следующий вид:

$$\underline{\varphi}_1 \left(\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{1}{\underline{Z}_3} \right) - \underline{\varphi}_2 \left(\frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{1}{\underline{Z}_3} \right) = 0, \quad (6.4)$$

или

$$\underline{\varphi}_1 \underline{Y}_{11} = \underline{U}_0 (\underline{Y}_2 + \underline{Y}_3).$$

Тогда

$$\underline{\varphi}_1 = \underline{U}_0 \frac{(\underline{Y}_2 + \underline{Y}_3)}{\underline{Y}_{11}}. \quad (6.5)$$

Токи в ветвях определим по закону Ома:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{\varphi}_1}{R}; \quad \underline{I}_2 = \frac{\underline{\varphi}_2 - \underline{\varphi}_1}{\underline{Z}_2}; \quad \underline{I}_3 = \frac{\underline{\varphi}_2 - \underline{\varphi}_1}{\underline{Z}_3}. \quad (6.6)$$

Проверку можно выполнить по первому закону Кирхгофа: $\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3$.

Для построения векторной диаграммы нужно рассчитать потенциалы всех точек схемы (рис. 6.1, а):

$$\underline{\varphi}_a = \underline{\varphi}_1 + \underline{I}_2 R_2;$$

$$\underline{\varphi}_6 = \underline{\varphi}_1 + \underline{I}_3 R_3.$$

Качественная векторная диаграмма цепи показана на рис. 6.2.

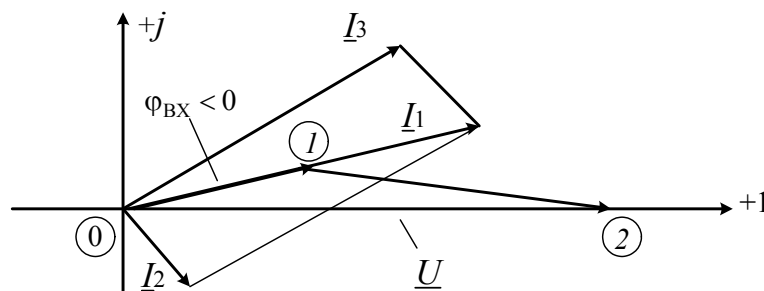


Рис. 6.2

Задание на предварительный расчет

1. Для схемы на рис. 6.1 рассчитать комплексы действующих значений токов \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_3 . Исходные данные к расчету задает преподаватель для каждого студента. В расчете принять начальную фазу входного напряжения $\psi_0 = 0$. Точка 0 заземлена. Записать мгновенные значения токов i_1 , i_2 , i_3 .

2. Рассчитать потенциалы все точек схемы, результаты занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Измеряемые величины	$U_1 = \dots; f = \dots; R_1 = R_{III} = 100 \text{ Ом}; R_2 = \dots; R_3 = \dots; L = \dots; C = \dots$			
	При частоте f			При частоте $0,5f$
	По предварительному расчету	Получено при эксперименте	$\delta, \%$	Получено при эксперименте
$\underline{I}_1, \text{ мА}$				
$\underline{I}_2, \text{ мА}$				
$\underline{I}_3, \text{ мА}$				
$\underline{\varphi}_1, \text{ В}$				
$\underline{\varphi}_2, \text{ В}$				
$\underline{\varphi}_a, \text{ В}$				
$\underline{\varphi}_b, \text{ В}$				

3. Построить по рассчитанным данным векторную диаграмму токов и напряжений. Масштабы выбрать такими, при которых диаграмма будет иметь размер примерно 150×150 мм. Начертить диаграмму на миллиметровке, причем векторы напряжений нанести одним цветом, а векторы тока – другим.

4. Качественно (без выполнения расчетов) начертить примерную векторную диаграмму напряжений и токов для частоты, в два раза меньшей.

Задание на эксперимент

Собрать цепь на рис. 6.3.

Все заземленные точки стенда имеют соединения внутри.

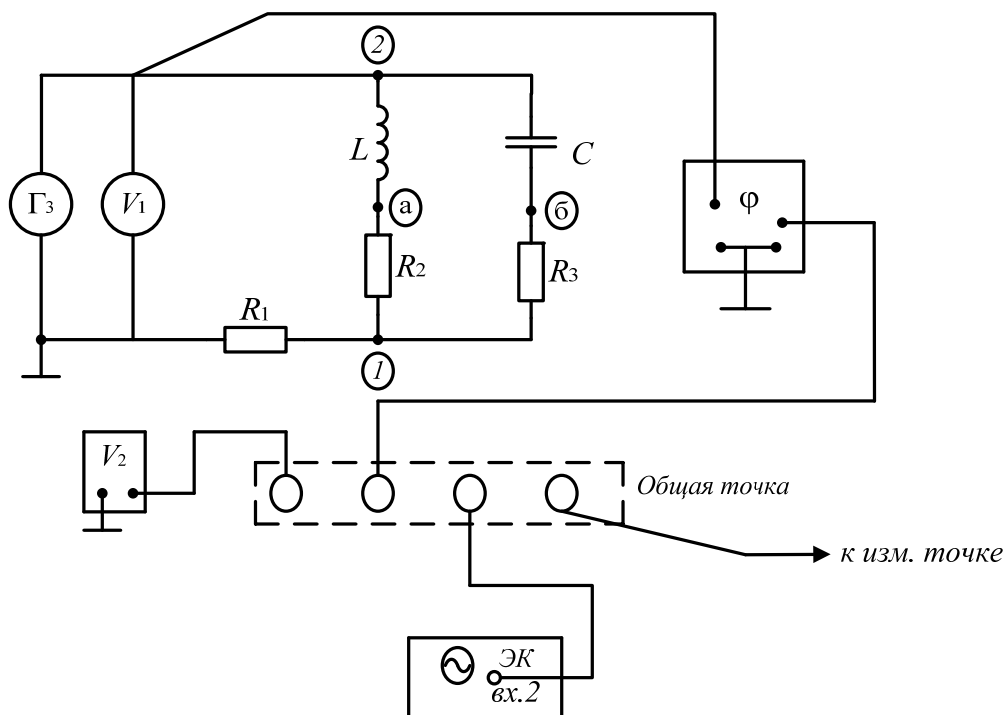


Рис. 6.3

На общую точку нужно подключить потенциальные зажимы: «изм.» фазометра, V_2 и вход 2 осциллографа. Выход с измерительной схемы поочередно подключается к точкам схемы, в которых измеряются потенциалы. Фазометр показывает при этом разность начальных фаз потенциала измеряемой точки и входного напряжения.

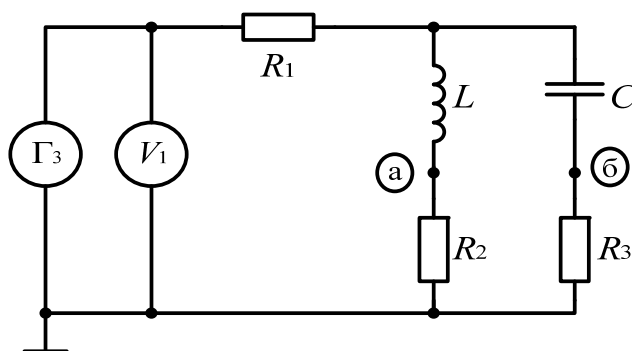


Рис. 6.4

2. Установить напряжение на генераторе и частоту согласно предварительному расчету. Измерить потенциалы и фазы точек 1, 2, а, б и занести в табл. 6.1. Значение тока I_1 рассчитывается по значению потенциала φ_1 .

3. Уменьшить частоту генератора в два раза, выполнить эксперимент аналогично п. 1. Результаты занести в табл. 6.1.

4. Собрать цепь на рис. 6.4.

Измерить потенциалы точек а и б при двух частотах f и $0,5f$; рассчитать токи I_2 и I_3 , результаты занести в табл. 6.1.

Обработка результатов измерений

1. Сравнить сумму действующих значений I_2 и I_3 с действующим значением тока I_1 , убедиться в их неравенстве. Пояснить причину.

2. По результатам измерений рассчитать активную и реактивную мощности генератора.

Вопросы для самопроверки

1. Пояснить способ измерения разности фаз с помощью фазометра.

2. Какие измерения необходимо выполнить, чтобы рассчитать активную и реактивную мощности источника питания? Покажите схему включения приборов.

3. Задано: $e(t) = 100 \sin(\omega t + 30^\circ)$ В. Запишите комплексное мгновенное значение $e(t)$, комплексную амплитуду; комплекс действующего значения \underline{E} .

Лабораторно-расчетная работа № 7

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 88–90] или [2, с. 105–109], или [3, с. 262–267];
- 2) изучить описание к данной работе;
- 3) выполнить предварительный расчет и подготовить протокол отчета;
- 4) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы: экспериментальное исследование входных и передаточных характеристик последовательного колебательного контура при изменении частоты источника питания.

Краткие пояснения

В цепи на рис. 7.1 действующее значение тока равно:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}. \quad (7.1)$$

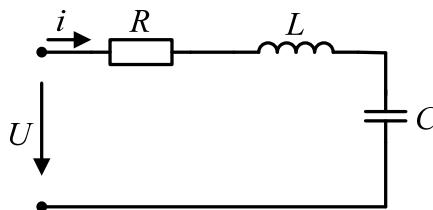


Рис. 7.1

Поскольку индуктивное и емкостное реактивные сопротивления компенсируют друг друга, всегда можно найти ω_0 , при которой $\omega L - 1/\omega C = 0$. Эта частота носит название резонансной и равна:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (7.2)$$

Комплексное сопротивление цепи $\underline{Z} = R + j(X_L - X_C)$ чисто активное и равно R . Разность фаз:

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = 0. \quad (7.3)$$

Таким образом, при резонансе, несмотря на наличие реактивных элементов в схеме, напряжение и ток на входе схемы совпадают по фазе. Величина сопротивления индуктивности и емкости при резонансе равна:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho, \quad (7.4)$$

где ρ – волновое сопротивление контура. Добротностью контура Q называют величину, равную:

$$Q = \frac{U_{C0}}{U} = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{I_0 \omega_0 L}{I_0 R} = \frac{\omega_C L}{R} = \frac{\rho}{R}. \quad (7.5)$$

$d = 1/Q$ – называется затуханием контура. Если $Q > 1$, то напряжение на реактивном элементе превышает входное. Последовательный колебательный контур в этом случае обладает свойствами усиления напряжения. На рис. 7.2 показаны частотные характеристики цепи.

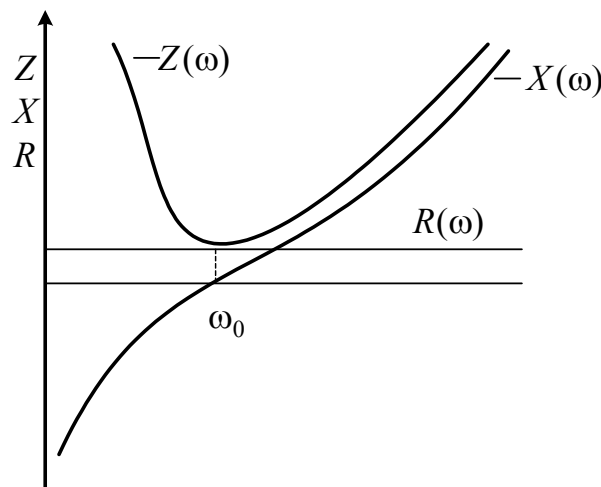


Рис. 7.2

Реактивное сопротивление $X = \omega L - 1/\omega C = L/\omega(\omega^2 - \omega_0^2)$ при $\omega \rightarrow 0$ $\omega \rightarrow \infty$ стремится к ∞ и при $\omega = \omega_0$, $X = 0$. Характерное свойство функции $X(\omega)$ заключается в том, что на всех частотах $dX/d\omega \geq 0$, $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$. Резонансные кривые приведены на рис. 7.3.

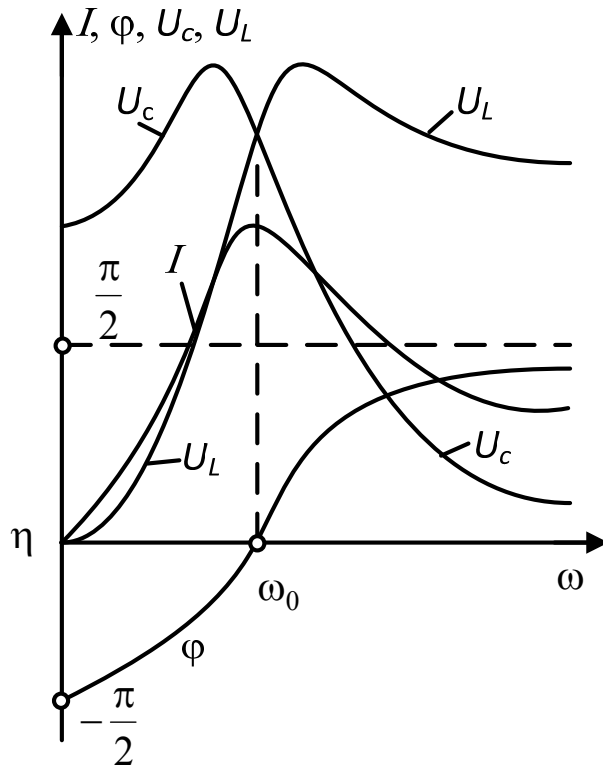


Рис. 7.3

При $\omega = \omega_0$ $U_{L0} = U_{C0}$: в этой точке ток достигает максимального значения.

Для оценки избирательных свойств последовательного колебательного контура вводят понятие – полоса пропускания контура Δf , которую определяют как разность верхней и нижней частоты, между которыми отношение I/I_0 превышает $1/\sqrt{2}$ (рис. 7.4).

Относительная полоса пропускания $S_0 = \Delta f/f_0 = 1/Q$, где Q – добротность контура. На нижней граничной частоте f_1 входной фазный угол равен -45° , на верхней граничной частоте $f_2 = +45^\circ$.

Действующее значение тока в цепи при резонансе: $I_0 = U_1/R$.

Задание на предварительный расчет

1. Рассчитать резонансную частоту f_0 , добротность Q , затухание d , граничные частоты f_1 и f_2 , относительную полосу пропускания S_0 для последовательного колебательного контура (рис. 7.5) для двух значений R_M . Данные для расчета указаны в табл. 7.1.

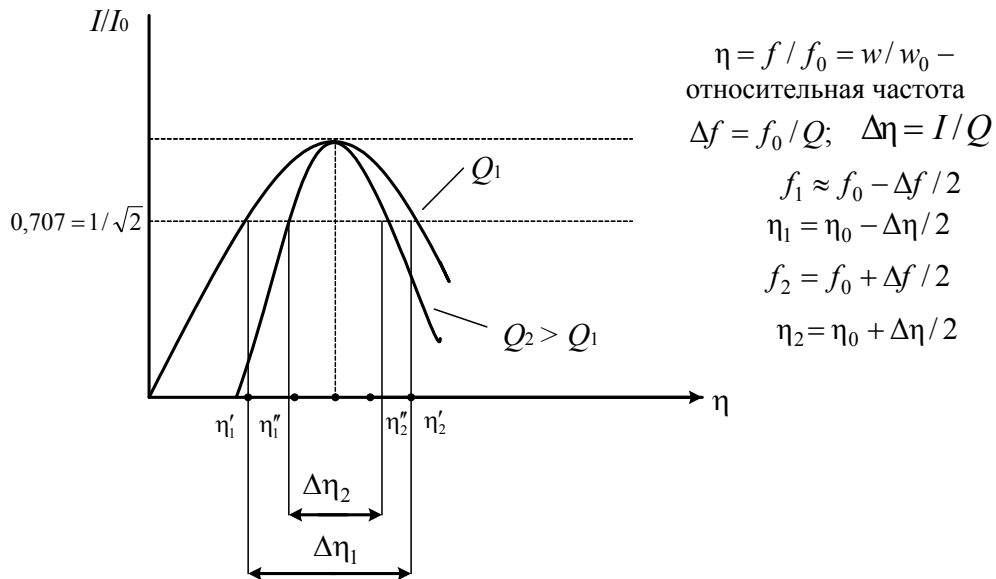


Рис. 7.4

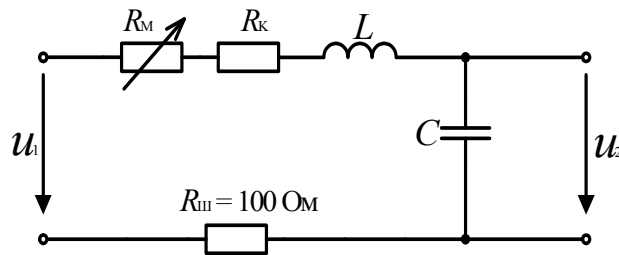


Рис. 7.5

Таблица 7.1

Данные к лабораторной работе № 7

Вариант 1			Вариант 2		
Номер стенда	Емкость	Индуктивность	Номер стенда	Емкость	Индуктивность
1	C_A	L_A	1	C_K	L_A
2	C_B	L_A	2	C_B	L_H
3	C_D	L_B	3	C_B	L_B
4	C_B	L_D	4	C_K	L_H
5	C_K	L_D	5	C_B	$L_F + L_A$
6	$C_B + C_A$	L_H	6	$C_B + C_K$	L_H
7	C_K	L_B	7	$C_B + C_A$	L_A
8	C_A	L_H	8	C_B	$L_H + L_A$
9	C_D	L_H	9	C_B	L_A
10	$C_B + C_K$	L_A	10	C_D	$L_H + L_A$
11	C_D	L_F	11	$C_B + C_A$	L_B
12	C_K	L_F	12	C_K	L_B
13	C_B	L_B	13	C_B	$L_H + L_B$

Окончание табл. 7.1

Вариант 3			Вариант 4		
Номер стенда	Емкость	Индуктивность	Номер стенда	Емкость	Индуктивность
1	$C_D + C_A$	L_A	1	C_K	L_B
2	$C_B + C_A$	L_B	2	C_A	L_B
3	$C_A + C_K$	L_F	3	C_D	L_D
4	C_A	L_D	4	C_K	L_A
5	C_B	L_D	5	C_B	L_F
6	C_K	L_A	6	C_A	L_A
7	$C_K + C_D$	L_B	7	$C_B + C_A$	L_B
8	$C_B + C_D$	L_F	8	C_B	$L_H + L_A$
9	C_D	L_H	9	C_B	L_D
10	$C_B + C_H$	L_A	10	C_D	L_A
11	C_D	L_A	11	C_K	L_F
12	C_K	L_D	12	C_D	L_B
13	C_A	L_H	13	C_B	L_A

Номер стенда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_M	40	80	160	40	80	160	320	640	320	160	80	40	160

Результаты расчета занести в табл. 7.2.

Таблица 7.2

$U = 2 \text{ В}; R_{III} = 100 \text{ Ом}, L_A = \dots; R_K = \dots; C_A = \dots$											
Сопротивление	R_M	$f_0,$ кГц	$\rho,$ кОм	Q	d	$\Delta f,$ кГц	$S_0 = \frac{\Delta f}{f_0}$	$f_1,$ кГц	$f_2,$ кГц	$I_0,$ мА	$U_2,$ В
Расчет											
Эксперимент											
Расчет	$2R_M$										
Эксперимент											

Внимание! Если по результатам расчета напряжение $U_2 > 8 \text{ В}$, то входное напряжение U_1 нужно в эксперименте рассчитать по формуле

$$U_1 = \frac{U_2}{Q} = \frac{8}{Q}, \text{ В.}$$

Задание на эксперимент

1. Для исследования входных характеристик собрать схему на рис. 7.6.

Установить напряжение на генераторе $V_2 = 2$ В (или значение, рассчитанное по формуле U_{C0}/Q) и поддерживать его постоянным. На осциллографе совместить оба канала для удобства наблюдения за разностью фаз.

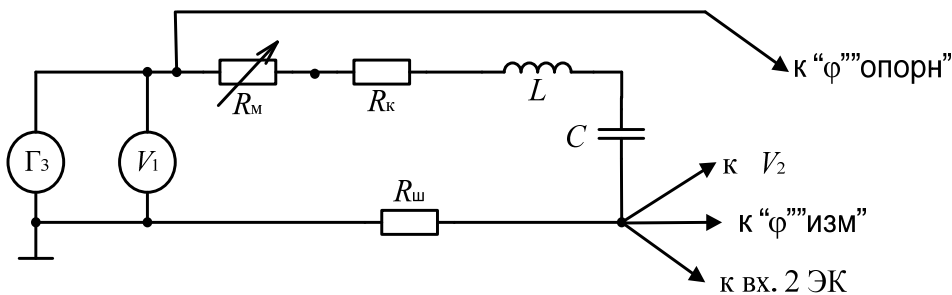


Рис. 7.6

2. Регулируя частоту и наблюдая за фазометром и осциллографом, найти резонансный режим. Фазометр при этом должен показывать 0. Амплитуда синусоиды тока – наибольшая, начальная фаза напряжения и тока совпадают. Занести показания приборов в табл. 7.3. Снять показания приборов по 4 значениям в одну и другую сторону от резонансной частоты, задавая фазовый угол: $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$, $\pm 70^\circ$.

3. Увеличить сопротивление R_M в два раза, снять АЧХ и ФЧХ аналогично п. 2. Показания приборов занести в табл. 7.3.

4. Для исследования частотного спектра передаточной функции собрать схему (рис. 7.7). Частотный спектр рассчитывается по формуле

$$\underline{H}_U(\omega) = \frac{U_2(\omega)}{U_1(\omega)} = H_U(\omega)e^{j\theta(\omega)}, \quad (7.6)$$

где $H_U(\omega) = \frac{U_2(\omega)}{U_1(\omega)}$ – АЧХ (амплитудочастотная характеристика);

$\theta(\omega) = \Psi_1 - \Psi_2$ (показание фазометра) – ФЧХ (фазочастотная характеристика).

На вольтметре V_1 установить напряжение согласно п. 1. Снять показания приборов при тех же частотах, что и в п. 3. Результаты занести в табл. 7.4.

Таблица 7.3

Входные АЧХ, ФЧХ при $U_1 = \dots$; $R_{III} = 100 \text{ Ом}$								
Сопротивление	Номер п/п	φ , градус	f , кГц	U_M , мВ	$I = U_{III} / R_{III}$, мА	$Z = U_1 / I$, кОм	I / I_0	$\eta = f / f_0$
R_M	1	-70						
	2	-60						
	3	-45						
	4	-30						
	5	0						
	6	30						
	7	45						
	8	60						
	9	75						
$2R_M$	1	-70						
	2	-60						
	3	-45						
	4	-30						
	5	0						
	6	30						
	7	45						
	8	60						
	9	75						

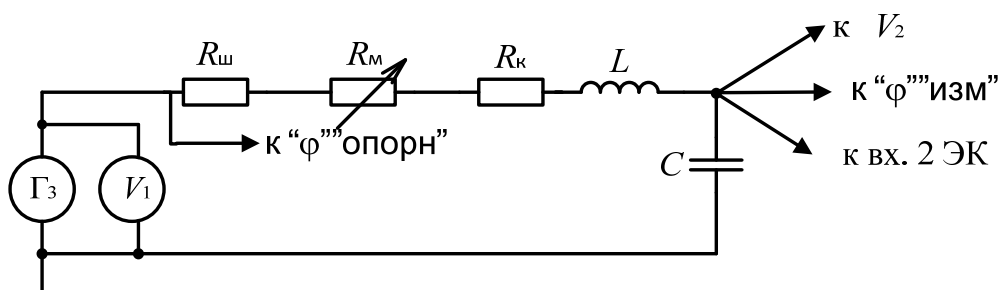


Рис. 7.7

Таблица 7.4

Передаточная АЧХ, ФЧХ при $U_1 = \dots$						
Сопротивление	Номер п/п	f , кГц	$\eta = f / f_0$	U_2 , В	$H_U = U_2 / U_1$	φ_{12} , градус
R_M	1					
	...					
	9					
$2R_M$	1					
	...					
	9					

Обработка результатов измерений

1. По результатам пп. 3 и 4 построить $Z(f)$, $\varphi(f)$, $H_U(f)$, $\Phi_{12}(f)$, $I/I_0 = f(\eta)$. Определить по ним граничные частоты f_1 и f_2 , полосу пропускания контура. Результаты занести в табл. 7.2, сравнить с расчетными.

2. Построить векторную диаграмму контура для $f = f_1, f_0, f_2$.

Вопросы для самопроверки

1. Как рассчитать резонансную частоту последовательного контура?

2. Рассчитайте резонансную индуктивность в цепи (рис. 7.8).

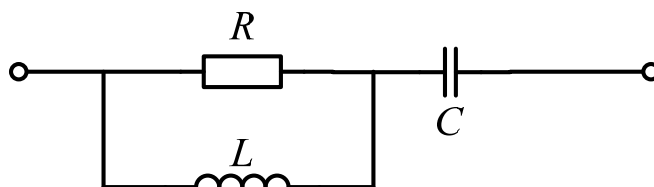


Рис. 7.8

3. Рассчитайте резонансную емкость в цепи (рис. 7.9).

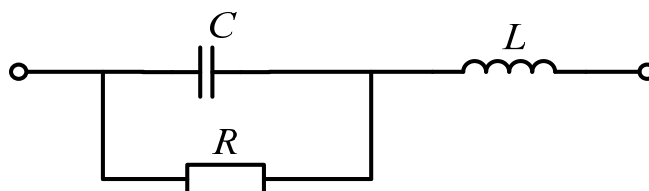


Рис. 7.9

4. Каков физический смысл характеристического сопротивления добротности Q ?

5. Поясните селективные свойства последовательного резонансного контура. Как рассчитать полосу пропускания контура?

6. Поясните усилительные свойства контура.

7. Нарисуйте $H_U(\omega)$ последовательного контура.

8. Рассчитайте резонансную частоту для схем задач 2 и 3.

Задачи к защите данной работы приведены в приложении 6.

Лабораторно-расчетная работа № 8

РЕЗОНАНС ТОКОВ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 85–88] или [2, с. 110–112], или [3, с. 269–272];
- 2) изучить описание к данной работе;
- 3) выполнить предварительный расчет и подготовить протокол отчета;
- 4) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы: экспериментальное исследование входных и передаточных характеристик параллельного колебательного контура при изменении частоты источника питания.

Краткие пояснения

Резонанс токов возникает при параллельном соединении индуктивности и емкости. Рассмотрим условие резонанса для схемы на рис. 8.1.

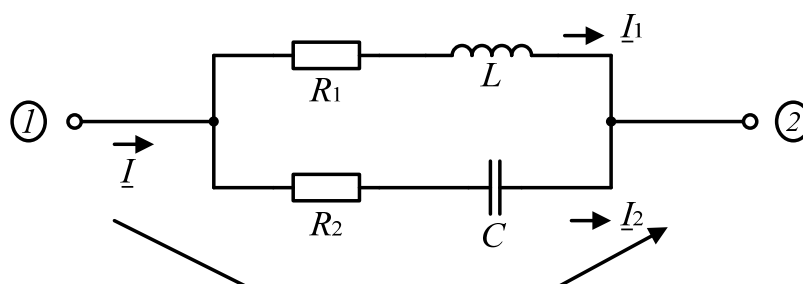


Рис. 8.1

По условию резонанса входная разность фаз $\varphi_{\text{ВХ}} = \psi_U - \psi_i = 0$.

Входной ток рассчитываем по закону Ома:

$$\underline{I} = \underline{U}_{12} \underline{Y}, \quad (8.1)$$

где

$$\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 = (g_1 - jb_1) + (g_2 + jb_2); \quad (8.2)$$

$$\underline{Y} = (g_1 + g_2) - j(b_1 - b_2);$$

$$\varphi_{\text{ВХ}} = \arctg \frac{b_1 - b_2}{g_1 + g_2} = 0, \quad (8.3)$$

откуда условие резонанса:

$$b_1 - b_2 = 0.$$

По условию преобразования треугольника сопротивлений в треугольник проводимостей:

$$b_1 = \frac{\omega L}{(\omega L)^2 + R_1^2}; \quad b_2 = -\frac{1/\omega C}{(1/\omega C)^2 + R_2^2}.$$

Следовательно, условие резонанса запишется:

$$\frac{\omega L}{(\omega L)^2 + R_1^2} = \frac{1/\omega C}{(1/\omega C)^2 + R_2^2}. \quad (8.3)$$

Решая полученное выражение относительно ω , получим:

$$\omega_{от} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\rho^2 - R_1^2}{\rho^2 - R_2^2}}; \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (8.4)$$

Из полученного выражения следует:

1. Резонансная частота существует, если $\rho > R_1$ и $\rho > R_2$, или $\rho < R_1$ и $\rho < R_2$.

2. Резонансная частота может регулироваться не только изменением L и C , но и активными сопротивлениями R_1 и R_2 .

3. Если $R_1 = R_2 = \rho$, то имеет место так называемый «безличный» резонанс, существующий при любых частотах. Входное сопротивление контура $R_{вх} = \rho$.

На рис. 8.2 показаны частотные характеристики идеального контура.

Внимание!

1. $\frac{db}{d\omega} < 0$ – при всех частотах;
2. При $\omega = \omega_0$ входной ток имеет наименьшее значение.

Задание на предварительный расчет

1. Для схемы на рис. 8.3 вывести формулу для расчета резонансной частоты.

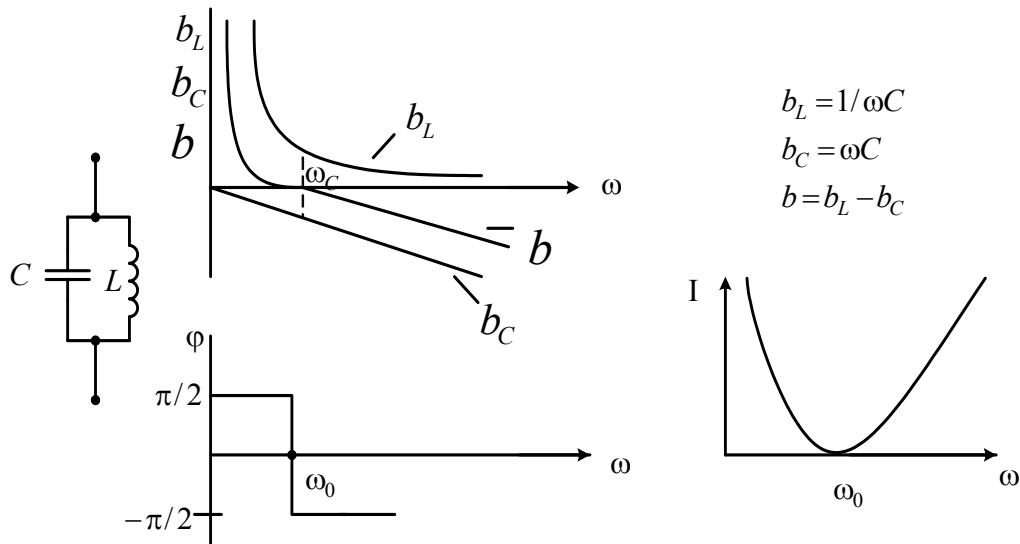


Рис. 8.2

2. Выбрать параметры индуктивности и емкости такими же, что и в лабораторно-расчетной работе № 7. Рассчитать волновое сопротивление контура $\rho = \sqrt{L/C}$.

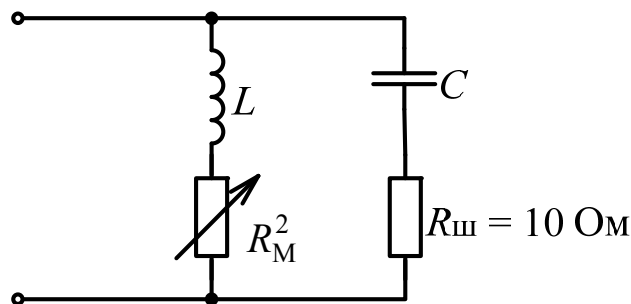


Рис. 8.3

3. Рассчитать резонансные частоты для двух значений сопротивления R : $R_M = 10 \text{ Ом}$; $R_M = \rho/2$.

Таблица 8.1

$R_M, \text{ Ом}$	Резонансная частота $f_0, \text{ Гц}$	
	Теория	Эксперимент

Задание на эксперимент

1. Собрать цепь на рис. 8.4.

На генераторе установить максимальное напряжение, $R_M = \rho/2$.

Менять частоту, наблюдая за показанием V_2 и разностью фаз на осциллографе, найти резонансную частоту. Занести показания частотомера в табл. 8.1.

2. Снять зависимость $I_1(\omega)$ для значений частот f_0 ; $f_0 \pm 200$ Гц; $f_0 \pm 400$ Гц; $f_0 \pm 600$ Гц; $f_0 \pm 800$ Гц. Результаты измерений занести в табл. 8.2.

3. Установить $R_M = 10$ Ом. Повторить эксперимент пп.1 и 2. Результаты занести в табл. 8.2.

4. Собрать схему на рис. 8.5. Снять зависимость токов $I_2(f)$ и $I_3(f)$ для тех же частот и значений R_M , что и в пп. 1–3. Результаты занести в табл. 8.2.

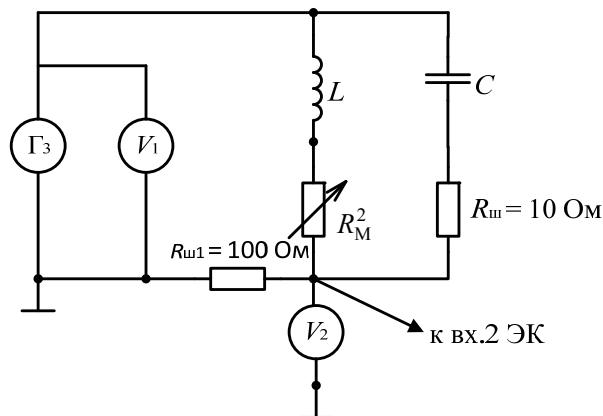


Рис. 8.4

Таблица 8.2

R_M	$U_1 = \dots \text{ В}; R_{ш1} = 100 \text{ Ом}; R_{ш3} = 10 \text{ Ом}$								$Z_{\text{вх}} = \frac{U_1}{I_1}$
	Но- мер п/п	f , Гц	$U_{ш1}$, В	I_1 , А	U_M , В	I_2 , мА	$U_{ш3}$, В	I_3 , мА	
$R_M = \dots$	1								
	...								
	9								
$R_M = 10 \text{ Ом}$	1								
	...								
	9								

Обработка результатов измерений

1. Рассчитать и занести в табл. 8.2 значения входного сопротивления $Z_{ВХ} = U_1 / I_1$.

2. Для каждого значения R_M построить на одном графике зависимости $I_1(f)$; $I_2(f)$; $I_3(f)$; $Z_{ВХ}(f)$. Сделать выводы о селективных свойствах контура.

3. Рассчитать и сравнить отношения токов в ветвях к току входному при резонансных частотах, занести в табл. 8.3.

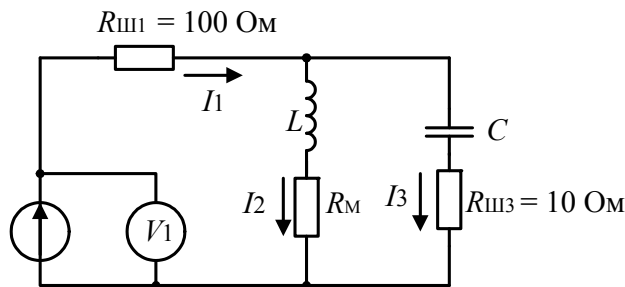


Рис. 8.5

Таблица 8.3

R_M	f_0 , Гц	I_2 / I_1	I_3 / I_1
$R_M = \dots$			
$R_M = 100 \text{ Ом}$			

Сделать выводы о свойстве усиления тока колебательного контура.

4. Построить векторные диаграммы для $f = f_0$; $f > f_0$; $f < f_0$.

Вопросы для самопроверки

1. Известно, что при резонансе ток $I_1 = 2 \text{ А}$; $I_3 = 4 \text{ А}$. Рассчитайте ток катушки I_2 .

2. Что такое «безличный» резонанс, когда он возникает?

3. Определите область изменений R_2 , при которых не может иметь место резонанс в схеме 8.4.

4. Качественно покажите зависимость $I_1(C)$ при изменении C от 0 до ∞ .

5. Поясните селективные свойства резонансного контура.

6. Поясните частотные свойства резонансного контура.

Задачи к защите данной работы приведены в приложении 6.

Лабораторно-расчетная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПЕЙ С ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИЕЙ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 94–98] или [2, с. 248–252], или [3, с. 114–131];
- 2) изучить описание к данной работе;
- 3) выполнить предварительный расчет и подготовить протокол отчета;
- 4) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы:

1. Экспериментальное измерение коэффициента взаимоиנדукции M , определение одноименных зажимов катушек.
2. Исследование реального трансформатора, его схемы замещения и векторной диаграммы
3. Изучение свойств идеального трансформатора.

Краткие пояснения

Два контура называют связанными, если изменение тока в одном из них вызывает изменение напряжения в другом. Если две катушки размещены таким образом, что магнитный поток одной катушки пересекает витки другой, между катушками имеется взаимоиנדуктивная связь, характеризуемая коэффициентом связи $K = M / \sqrt{L_1 L_2}$, где $L_1 L_2$ – индуктивность катушек; M – взаимная индуктивность катушек. Коэффициент связи K показывает, какая часть магнитного потока одной катушки сцеплена с витками другой. При согласном включении магнитные потоки катушек суммируются, при встречном – вычитаются. Если индуктивно-связанные катушки включены последовательно-согласно, то $L_{\text{СОГ}} = L_1 + L_2 + 2M$, если последовательно-встречно, то $L_{\text{ВСТР}} = L_1 + L_2 - 2M$.

Тогда

$$M = \frac{L_{\text{СОГ}} - L_{\text{ВСТР}}}{4}. \quad (9.1)$$

Если индуктивно-связанные катушки включены по схеме воздушного трансформатора (см. рис. 9.1), то в режиме холостого хода:

$$\underline{U}_2 = \underline{I}_1 \cdot jX_M.$$

Тогда

$$M = \frac{U_2}{\omega I_1}. \quad (9.2)$$

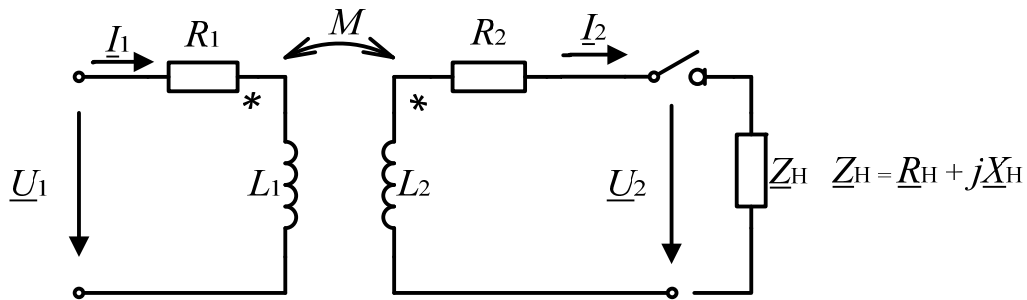


Рис. 9.1

После замыкания ключа по вторичному контуру начинает протекать ток. Согласно закону Ленца, магнитный поток второй катушки ослабляет магнитный поток первой (встречное включение). Уменьшение магнитного потока равносильно внесению в первичный контур катушки с отрицательной индуктивностью X_{BH1} . На резистивном сопротивлении вторичного контура $R_{22} = R_H + R_2$ выделяется активная мощность $P_2 = I_2^2 \cdot R_{22}$, что эквивалентно внесению в первичный контур дополнительного активного сопротивления R_{BH1} .

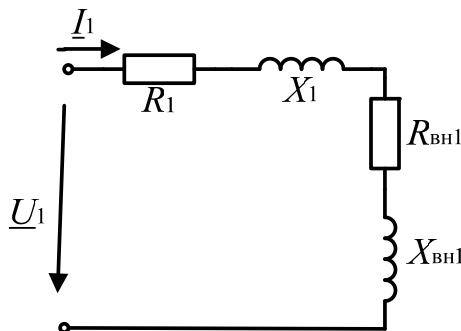


Рис. 9.2

Эквивалентная одноконтурная схема показана на рис. 9.2.

Если известен коэффициент взаимной индукции M , то R_{BH} и X_{BH} можно рассчитать [2]:

$$\begin{aligned}
X_{\text{ВН1}} &= -\frac{(\omega M)^2}{Z_{22}^2} X_{22}; \quad R_{\text{ВН1}} = \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}^2} R_{22}; \\
R_{22} &= R_2 + R_{\text{H}}; \quad X_{22} = X_2; \\
Z_{22}^2 &= R_{22}^2 + X_{22}^2.
\end{aligned}
\tag{9.3}$$

Индуктивности катушек можно измерять разными способами. В работе № 5 измерение R_{K} , L_{K} производилось с помощью амперметра, вольтметра и фазометра. Индуктивности катушек можно измерять с помощью мостов переменного тока. Однако такие приборы сложны и в комплект лабораторного оборудования не входят. Достаточно просто и точно можно измерить индуктивности резонансным методом по схеме на рис. 9.3.

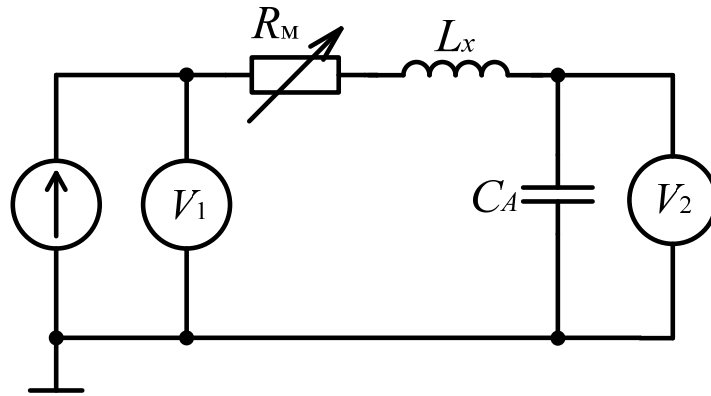


Рис. 9.3

Значение емкости C должно быть известным. На генераторе находят частоту f , при которой вольтметр покажет наибольшее напряжение, что является признаком резонанса напряжений. Измерение будет тем точнее, чем выше добротность контура Q :

$$Q = \frac{X_{L0}}{R_M} = \frac{X_{C0}}{R_M}.
\tag{9.4}$$

Максимальное значение R в реальном контуре ограничивается допустимым значением напряжения на реактивных элементах, так как в момент резонанса $U_L(0) = U_1 Q$, где U_1 – действующее значение входного напряжения. На частоте резонанса $f = f_0$:

$$\omega L_X - 1/\omega C = 0; \quad L_X = 1/(2\pi f_0)^2 C.
\tag{9.5}$$

Вносимые резистивное и реактивное сопротивления измеряют также резонансным методом. Чтобы измерить $L_{\text{ВН1}}$ и $R_{\text{ВН1}}$ определяют резонансную частоту, сначала – при разомкнутой катушке, а затем – при замкнутой (рис. 9.4). При разомкнутой измеряется индуктивность первичного контура L_1 , при замкнутой – $(L_1 - L_{\text{ВН}})$.

Резистивное сопротивление $R_{\text{ВН}}$ рассчитывается по изменению добротности контура при разомкнутом и замкнутом ключе схемы на рис. 9.4.

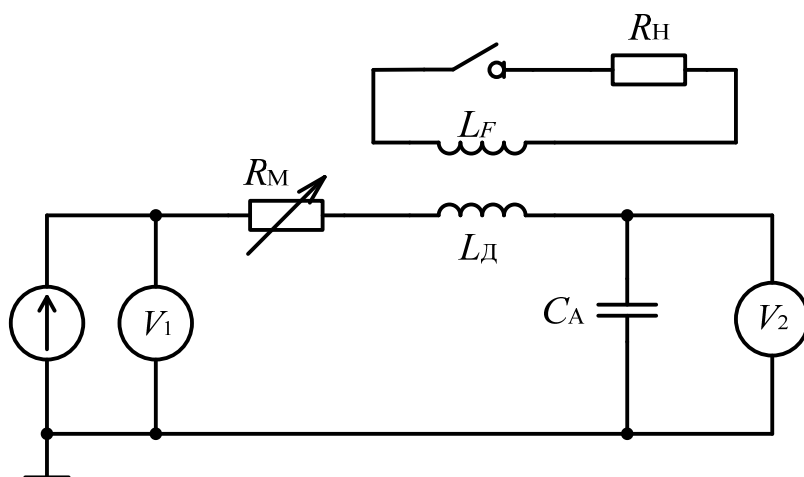


Рис. 9.4

До замыкания ключа добротность контура $Q_1 = U_{V2} / U_{V1} = \rho / R_M$, а после замыкания $Q_2 = U_{V2} / U_{V1} = \rho / (R_M + R_{\text{ВН}})$, откуда

$$R_{\text{ВН}} = \left(\frac{Q_1}{Q_2} - 1 \right) R_M = \left(\frac{U_{V2}}{U_{V2}} - 1 \right) R_M. \quad (9.6)$$

Идеальным называют трансформатор без потерь с бесконечно большими индуктивностями L_1 и L_2 , отношение которых равно коэффициенту трансформации $n = L_1 / L_2 = W_1 / W_2$, где W_1 и W_2 – число витков первичной и вторичной катушек. В идеальном трансформаторе отношение $U_1 / U_2 = I_2 / I_1 = n$ не зависит от нагрузки. В идеальном трансформаторе выполняется отношение [2]:

$$\underline{Z}_{\text{ВХ}} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{n U_2}{I_1 / n} = n^2 \underline{Z}_2. \quad (9.7)$$

Откуда видно, что при помощи идеального трансформатора достигается изменение модуля сопротивления Z_H в n раз, не изменяющее характер нагрузки. Идеальный трансформатор применяют для согласования нагрузки и источника питания.

Задание на предварительный расчет

1. Рассчитать показания прибора $V_2(U_{III})$ в цепи на рис. 9.6, если $U_1 = 2,5$ В; $R_{III} = 10$ Ом; $W_1/W_2 = 2; 4; 6; 8$. Значение R_H и частоты выбрать в соответствии с номером варианта из табл. 9.1. Результаты расчета занести в табл. 9.5.

Таблица 9.1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
f , кГц	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4
R_H , Ом	10	20	40	80	100	80	200	40	20	10	40	160	20
	и 20	и 40	и 80	и 20	и 40	и 100	и 20	и 10	и 120	и 120	и 80	и 20	и 100

Задание на эксперимент

1. Измерить индуктивность L_D . Для этого собрать цепь по схеме на рис. 9.3. Установить $U_1 = 2$ В, регулятор частоты в диапазоне 2–20 кГц, $R_M = 160$ Ом. Найти резонансную частоту по максимальному показанию V_2 . Результаты в данном и последующих опытах занести в табл. 9.2.

2. Определить индуктивность L_F . Для этого отключить от цепи катушку L_D и подключить катушку L_F . Определить резонансную частоту.

3. Определить одноименные зажимы катушек L_D и L_F , т. е. произвести разметку их выводов. Для этого катушки соединяют последовательно и измеряют результирующую индуктивность, а затем выводы одной из катушек меняют местами, и снова измеряют результирующую индуктивность. В том случае, когда результирующая индуктивность больше, соединение согласное. Необходимо измерить эквивалентные индуктивности $L_{\text{пос.сог}}$ и $L_{\text{пос.встр}}$.

4. Собрать цепь на рис. 9.4. Установить $U_1 = 1$ В; $R_H = 100$ Ом. Найти резонансную частоту по максимальному показанию вольтмет-

ра V_2 . Эксперимент выполнить при замкнутом ключе. Значение резонансных частот занести в табл. 9.2; значение U_1 и U_2 – в табл. 9.3.

Таблица 9.2

Измеряемые параметры	Измерено при $U_1 = 1 \text{ В}, C = C_A$	Рассчитано по экспериментальным данным
	$f_0, \text{ Гц}$	$L, \text{ мГн}$
L_D		
L_F		
$L_{\text{ПОС.СОГ}}$ (при согласованном включении)		
$L_{\text{ПОС.ВСТР}}$ (при встречном включении)		
$L_{\text{ТРАНСФОРМ}}$, холостой ход		
$L_{\text{ТРАНСФОРМ}}$, $R_H = 100 \text{ Ом}$		

Таблица 9.3

Режим работы	$U_1, \text{ В}$	$U_2, \text{ В}$	$Q = U_2/U_1$
Режим ХХ (ключ разомкнут)			
$R_H = 100 \text{ Ом}$ (ключ замкнут)			

5. Собрать цепь трансформатора по рис. 9.5.

Для режимов холостого хода и нагруженного на активную нагрузку $R_H = 100 \text{ Ом}$ измерить токи первичной и вторичной цепей и напряжение на нагрузке при неизменном входном напряжении $U_1 = 1,5 \div 2 \text{ В}$ и неизменной частоте $f = 2 \div 4 \text{ кГц}$. Результаты занести в табл. 9.4.

6. Собрать цепь на рис. 9.6. Экспериментально измерить коэффициент трансформации идеального трансформатора при различных положениях переключателя n_U , изменяя от 2 до 10 кГц, а напряжение – от 1 до 3 В.

Таблица 9.4

Измерено при $U_1 = \dots; f = \dots$		Рассчитано по результатам эксперимента		Характер нагрузки
$U_{\text{Ш}}, \text{ В}$	$U_{\text{Н}}, \text{ В}$	$I_1 = U_{\text{Ш}}/R_{\text{Ш}}, \text{ мА}$	$I_2 = U_{\text{Н}}/R_{\text{Н}}, \text{ мА}$	
				Холостой ход
				$R_H = 100 \text{ Ом}$

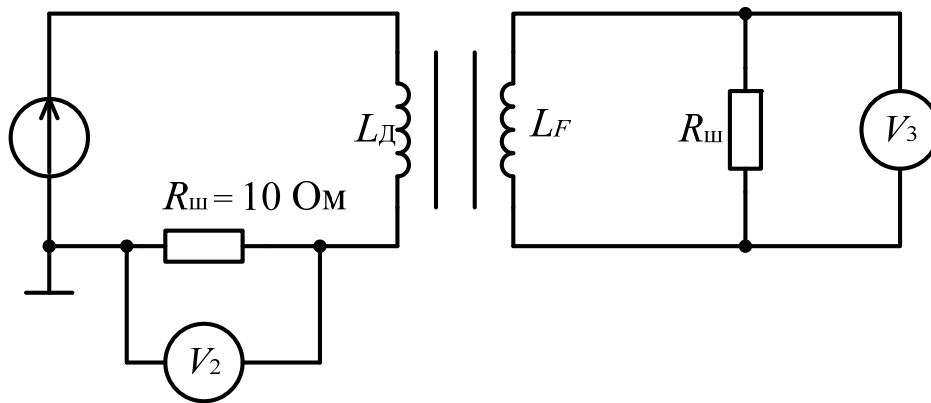


Рис. 9.5

Убедиться, что коэффициент трансформации не зависит ни от частоты, ни от напряжения, что свидетельствует о достаточно больших индуктивностях обмоток, малых резистивных составляющих сопротивлений катушек. Эксперимент выполняется при отключенной нагрузке. Результаты измерений занести в табл. 9.5. Подключить нагрузку. Измерить $U_{\text{ш}}(V_2)$, $U_{\text{н}}(V_3)$ при $n_U = 2; 4; 6; 8$ и двух значениях $R_{\text{н}}$ (см. табл. 9.1). Результаты занести в табл. 9.5.

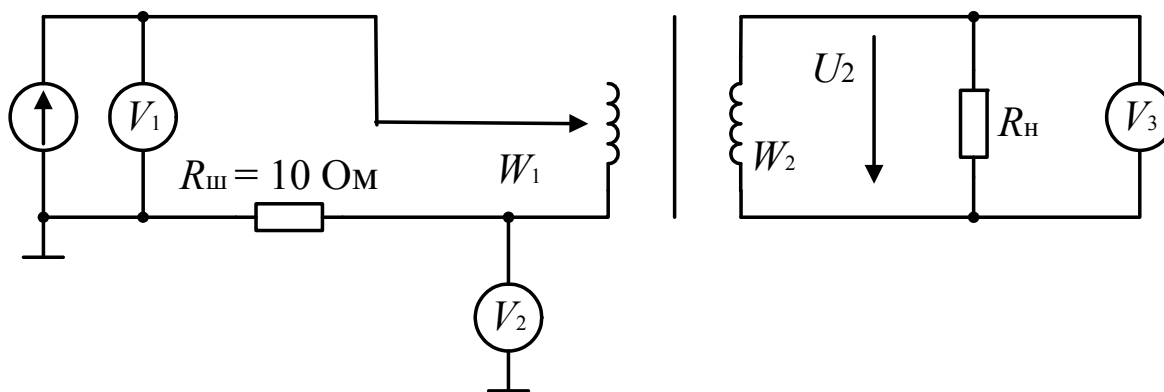


Рис. 9.6

7. Установить напряжение $U_1 = 2,5$ В, $R_{\text{ш}} = 10$ Ом, частоту f и нагрузку $R_{\text{н}}$, для которых производился предварительный расчет. Занести в табл. 9.4 показания приборов для различных значений коэффициента передачи трансформатора и сопротивления нагрузки.

Таблица 9.5

Параметр		$R_{ш} = 10 \text{ Ом}; U_1 = 2,5 \text{ В}$					
$R_H, \text{ Ом}$		$R_{H1} =$			$R_{H2} =$		
W_1 / W_2							
$R_{BX}, \text{ расчет}$							
$U_{ш}, \text{ мВ}$							
$I, \text{ мА}$							
$R_{BX} = U_1 / I_1$							
$U_2, \text{ мА}$	холостой ход						
	нагрузка						
$I_2, \text{ мА}$							
$K = U_1 / U_2$	холостой ход						
	нагрузка						
$K = I_1 / I_2$							

Обработка результатов измерений

1. По экспериментальным результатам рассчитать индуктивности катушек. Результаты расчетов занести в табл. 9.2.
2. По результатам измерений п. 3 рассчитать M и коэффициент связи K_M . Результаты расчета занести в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Вид соединения	$L_{СОП}, \text{ мГн}$	$L_{ВСТР}, \text{ мГн}$	$M, \text{ Гн}$	K_M
Последовательное				
Трансформатор				

3. По результатам опыта ХХ п. 5 определить M и K_M , результаты занести в табл. 9.6.
4. По результатам эксперимента п. 4. рассчитать вносимые сопротивления $R_{ВН1}$ и $X_{ВН1}$. Сравнить со значениями, рассчитанными по формулам (9.3).
5. По известным $R_{ВН1}$ и $X_{ВН1}$ рассчитать ток первичной обмотки I_1 , сравнить с измерением.
6. Составить уравнение нагруженного трансформатора (рис. 9.1) для мгновенных значений и в комплексной форме. Построить векторную диаграмму.
7. Составить схему замещения трансформатора (по рис. 9.1) без индуктивных связей.

Вопросы для самопроверки

1. Докажите, что при последовательно соединенных катушках индуктивностей $L_{\text{ЭК}} = L_1 + L_2 \pm 2M$.
2. Каков физический смысл сопротивлений $R_{\text{ВН}}$ и $X_{\text{ВН}}$?
3. Каков физический смысл коэффициента связи K , как его рассчитать?

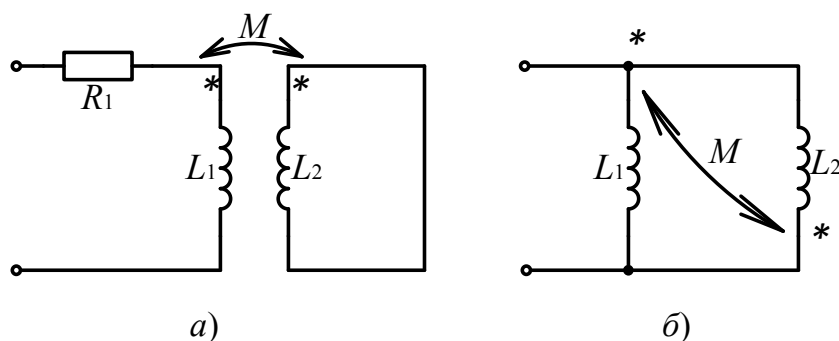


Рис. 9.7

4. Рассчитайте $L_{\text{ЭК}}$ в схемах (рис. 9.7, а, б).

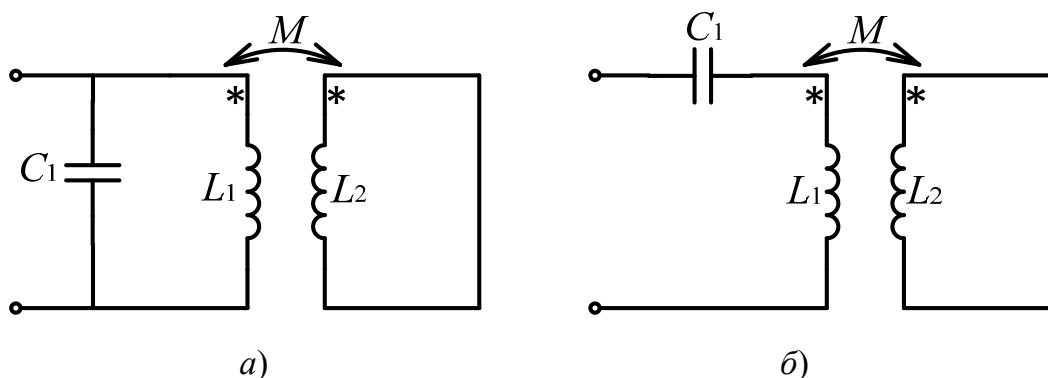


Рис. 9.8

5. Рассчитайте резонансную частоту в схеме (рис. 9.8, а, б).
6. Что такое идеальный трансформатор? Каковы его свойства?
7. Рассчитайте коэффициент трансформации согласующего трансформатора, если $R_{\Gamma} = 10 \text{ Ом}$, $R_{\text{Н}} = 1000 \text{ Ом}$.
8. Как изменяется коэффициент взаимной индукции M катушек, если: а) число витков первой катушки увеличить в 2 раза; б) витков первой катушки уменьшить в 2 раза?

Задачи к защите данной работы приведены в приложении 6.

Лабораторно-расчетная работа № 10

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ, СОЕДИНЕННЫЕ ЗВЕЗДОЙ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с. 146–157] или [2, с. 283–289], или [3, с. 169–177];
- 2) изучить описание к данной работе и подготовить протокол отчета;
- 3) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы:

1. Определение порядка чередования фаз трехфазного генератора.
2. Исследование режимов работы простейших трехфазных цепей, соединенных звездой.
3. Получение навыков построения векторных диаграмм по экспериментальным данным.

Краткие пояснения

Трехфазной цепью называют совокупность трех однофазных цепей (фаз), в каждом из которых действуют задающие напряжения одной и той же частоты, сдвинутые относительно друг от друга на 120° . Соединение фаз генератора и нагрузки (независимо друг от друга) может быть выполнено звездой или треугольником. Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений симметричного генератора, соединенного звездой, показана на рис. 10.1, б, схема соединения обмоток – на рис. 10.1, а.

Фазные и линейные напряжения:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= U_\Phi; & \underline{U}_{AB} &= U_\Phi \sqrt{3} e^{j30^\circ}; \\ \underline{U}_A &= U_\Phi e^{-j120^\circ} = \underline{a}^2 U_\Phi; & \underline{U}_{BC} &= U_\Phi \sqrt{3} e^{-j90^\circ} = \underline{a}^2 \underline{U}_{AB}; \quad (10.1) \\ \underline{U}_C &= U_\Phi e^{j120^\circ} = \underline{a} U_\Phi; & \underline{U}_{CA} &= U_\Phi \sqrt{3} \cdot e^{j150^\circ} = \underline{a} \underline{U}_{AB}. \end{aligned}$$

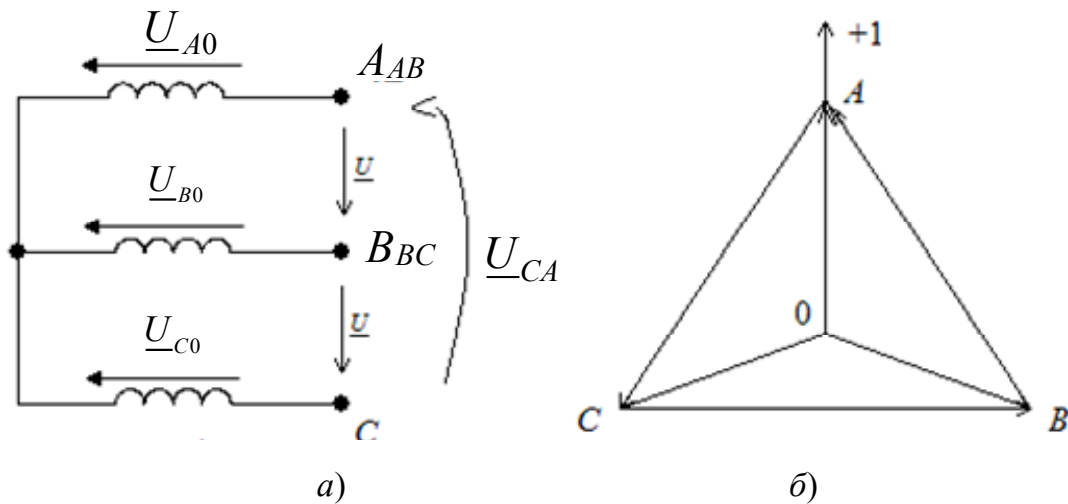


Рис. 10.1

Если фаза B по отношению к фазе « A » является отстающей, то чередование фаз прямое, а если опережающее – обратное. Для удобства вычислений введем обозначение $\underline{a} = e^{j120^\circ}$, где \underline{a} – оператор поворота. Тогда $\underline{a}^2 = e^{j240^\circ} = e^{-j120^\circ}$, и

$$1 + \underline{a} + \underline{a}^2 = 0. \quad (10.2)$$

Таким образом, тройка векторов $1, \underline{a}, \underline{a}^2$ образует симметричную звезду.

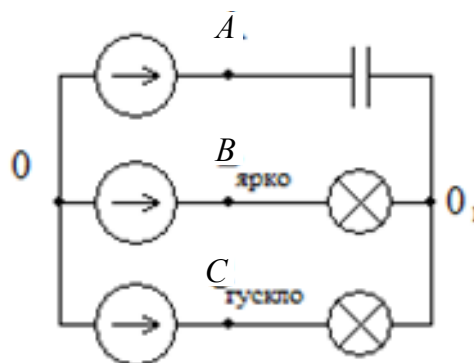


Рис. 10.2

Для определения порядка чередования фаз применяют схему на рис. 10.2 (указатель чередования фаз). Если фазу, к которой подключается конденсатор, принять за фазу A , то лампа в отстающей фазе B горит более ярко, в опережающей C – более тускло.

Расчет трехфазных цепей можно выполнить любым методом расчета разветвленных цепей однофазного синусоидального тока. Рассчитаем схему на рис. 10.2 методом узловых потенциалов. В качестве базы выберем узел 0. Тогда смещение нейтрали $\underline{U}_{0,0}$ равно:

$$\underline{U}_{0,0} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}. \quad (10.3)$$

Пусть $X_C = R_{\text{Л}}$, где $R_{\text{Л}}$ – сопротивление лампы, тогда

$$\underline{Y}_A = j \frac{1}{R_{\text{Л}}}; \quad \underline{Y}_B = \underline{Y}_C = \frac{1}{R_{\text{Л}}};$$

$$\underline{U}_{0,0} = \frac{j \underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C}{j + 2} = \frac{\underline{E}_A (j + a^2 + a)}{j + 2}.$$

Из (10.2) $a + a^2 = -1$, тогда

$$\underline{U}_{0,0} = \frac{-1 + j}{2 + j} E_{\Phi} = 0,63 \cdot E_{\Phi} e^{j108,4^\circ} \text{ В.}$$

Векторная диаграмма напряжений приведена на рис. 10.3. Как видно из диаграммы, напряжение на U_{B01} больше, чем U_{C01} . Поэтому лампа в фазе B фазоуказателя горит ярче, чем лампа в фазе C .

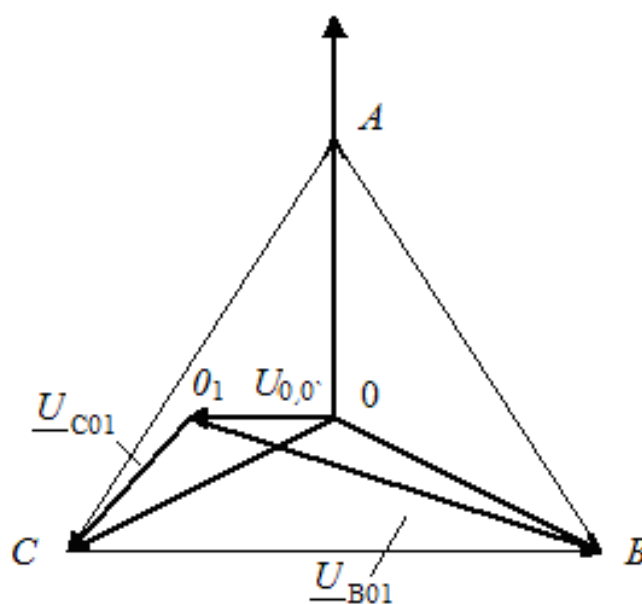


Рис. 10.3

Построение векторных диаграмм по экспериментальным данным

Пусть для схемы на рис. 10.4 получены следующие измерения:

$$U_{A0} = U_{B0} = U_{C0} = 9 \text{ В};$$

$$U_{A01} = 7,5 \text{ В}; U_{B01} = 9 \text{ В}; U_{C01} = 10,8 \text{ В};$$

$$U_{III1} = 0,4 \text{ В}; U_{III2} = 0,35 \text{ В}; U_{III3} = 0,19 \text{ В};$$

$$U_{0,0} = 2,7 \text{ В}; R_{III1} = R_{III2} = R_{III3} = 100 \text{ Ом};$$

$$I_A = 4 \text{ мА}; I_B = 3,5 \text{ мА}; I_C = 1,9 \text{ мА}.$$

Построить лучевую диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений. Выберем масштаб напряжений 3 В/см. Вначале построим диаграмму напряжений генератора U_{AB} ; U_{B0} ; U_{C0} .

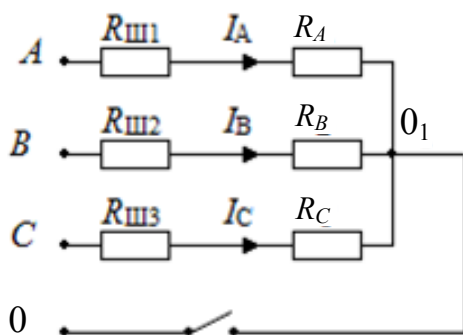


Рис. 10.4

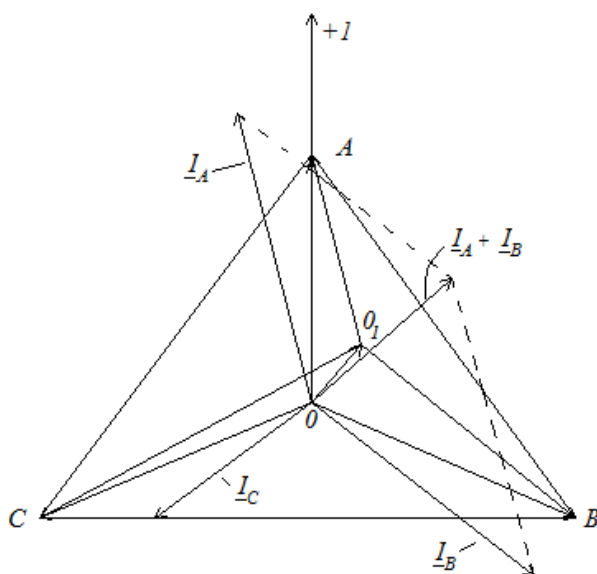


Рис. 10.5

Затем с помощью циркуля откладываем U_{A01} , U_{B01} , U_{C01} – точка пересечения определяет положение точки O_1 – нейтрали нагрузки. В масштабе отрезок U_{010} должен быть равен напряжению смещения нейтрали, измеренному в эксперименте. Теперь выберем масштаб тока 1 мА/см и отложим токи I_A , I_B , I_C из начала координат (рис. 10.5). Сумма токов должна быть равна нулю.

Задание на эксперимент

1. Определить порядок чередования фаз по схеме на рис. 10.2.
2. Измерить фазные и линейные напряжения трехфазного генератора U_{A0} ; U_{B0} ; U_{C0} ; U_{AB} ; U_{BC} ; U_{CA} . Построить векторную диаграмму.
3. Собрать схему на рис. 10.6. Выполнить измерение фазных напряжений нагрузки U_{A01} , U_{B01} , U_{C01} , напряжение смещения нейтрали U_{010} ; фазных токов I_A , I_B , I_C , ток нейтрального провода I_0 с нулевым проводом и без него для следующих режимов работ нагрузки: симметричная; несимметричная; неоднородная (емкость в фазе A нагрузки). Результаты измерений занести в табл. 10.1.

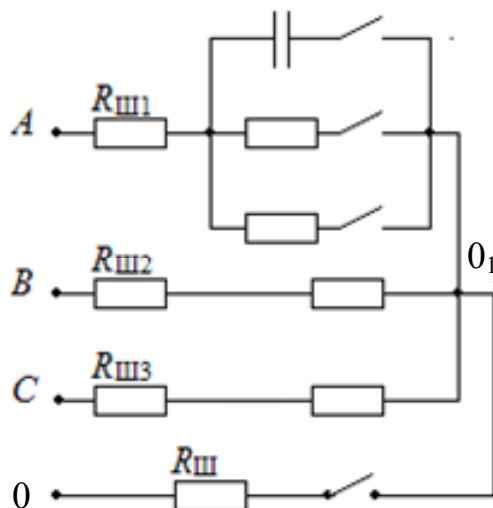


Рис. 10.6

Обработка результатов измерений

Построить векторные диаграммы напряжений и токов для всех случаев нагрузки для п. 3. Векторные диаграммы для одной и той же

нагрузки с нулевым и без нулевого провода расположить рядом. Векторные диаграммы строить на миллиметровке. Диаграмму токов и напряжений начертить, используя разный цвет.

Вопросы для самопроверки

1. Изменится ли симметричная система фазных напряжений трехфазного генератора, соединенного в звезду, если поменять местами начало и конец одной из фаз?

2. Как экспериментально определить порядок чередования фаз?

3. Каково назначение нулевого провода; почему в него не ставят предохранитель?

4. Что такое напряжение смещения нейтрали? При какой нагрузке смещение нейтрали в цепи без нулевого провода равно нулю?

5. Почему в трехфазной цепи с нулевым проводом малого сопротивления изменение нагрузки в одной из фаз не влияет на напряжение и токи двух других фаз.

Таблица 10.1

Нагрузка	Режим нейтрали	$U_{01},$ В	$U_{B01},$ В	$U_{C01},$ В	$U_{010},$ В	$I_A,$ мА	$I_B,$ мА	$I_C,$ мА	$I_0,$ мА
Симметричная $R_A = R_B = R_C$	с «0»								
	без «0»								
Несимметричная $R_A > R_B = R_C$	с «0»								
	без «0»								
Несимметричная $R_A < R_B = R_C$	с «0»								
	без «0»								
Холостой ход фазы A	с «0»								
	без «0»								
Короткое замыкание фазы A	только без «0»								
Неоднородная емкость в фазе A	с «0»								
	без «0»								

Лабораторно-расчетная работа № 11

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ, СОЕДИНЕННЫЕ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

При подготовке к выполнению лабораторно-расчетной работы необходимо:

- 1) изучить [1, с.146–157], [2, с. 283–289], [3, с. 169–177];
- 2) изучить описание данной работы и подготовить протокол отчета;
- 3) ответить на вопросы для самопроверки.

Цель работы:

1. Изучение режимов трехфазной цепи, соединенной в треугольник.
2. Получение навыков построения топографических диаграмм напряжений и векторных диаграмм токов по экспериментальным данным.

Краткие пояснения

При анализе работы схемы, собранной треугольником, и отсутствии сопротивлений в линейных проводах напряжения на фазах нагрузки постоянны и равны линейным напряжениям трехфазного генератора. Это используется при построении векторных диаграмм токов.

Рассмотрим, например, схему на рис. 11.1.

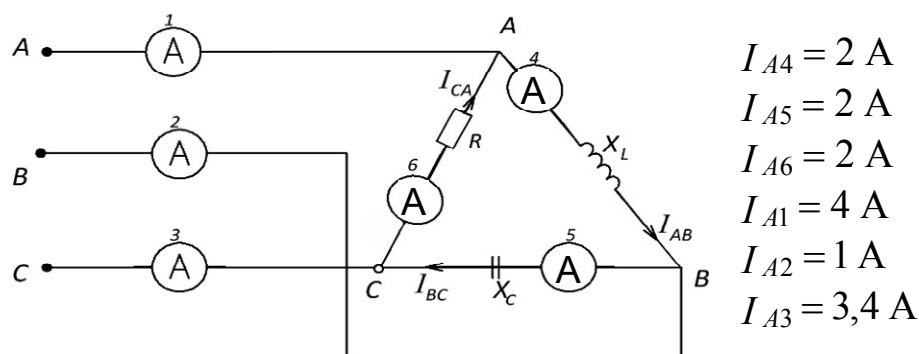


Рис. 11.1

Известны показания всех приборов, построить векторную диаграмму.

Порядок построения диаграммы

1. Строим треугольник линейных напряжений генератора, приняв, например, за базовый вектор фазного напряжения генератора U_{AO} (рис. 11.2).

2. Лучевую диаграмму фазных токов $I_{AB} = I_{A4}$; $I_{BC} = I_{A5}$; $I_{CA} = I_{A6}$ строим из начала координат, ориентируя их относительно линейных напряжений.

3. Линейные токи найдем по первому закону Кирхгофа:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}; \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

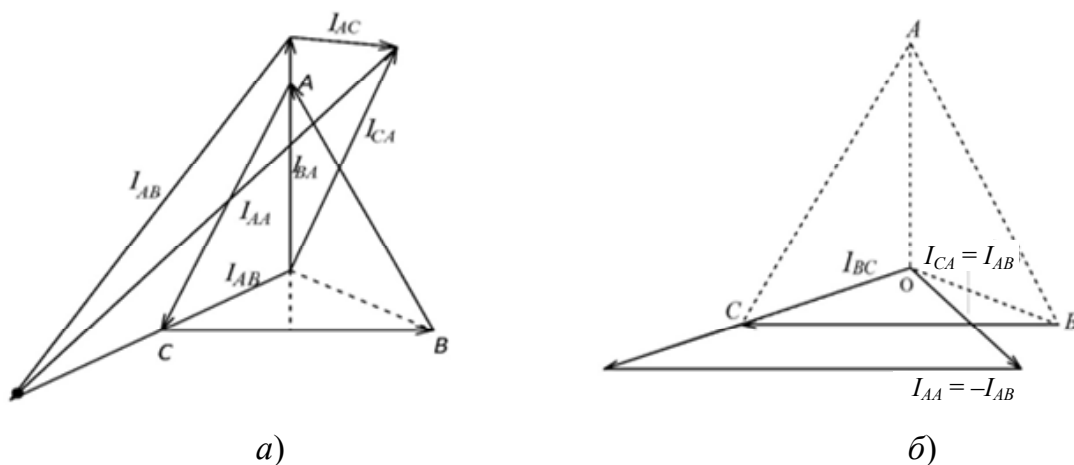


Рис. 11.2

4. Линейные токи, полученные по векторной диаграмме, должны равняться показаниям амперметров: $I_{ЛА} = I_{A1}$; $I_{ЛВ} = I_{A2}$; $I_{ЛС} = I_{A3}$.

Пусть в схеме произошел обрыв линейного провода A . Определим показания приборов в этом режиме. В нормальном режиме работы схемы фазные токи одинаковы. Следовательно, $X_L = X_C = R$ и линейные напряжения равны $I_{\Phi} Z_{\Phi} = 2R$. Модули фазных токов после обрыва линейного провода определим по закону Ома:

$$I_{AC} = \frac{U_{Л}}{Z_{\Phi}} = \frac{2R}{X_C} = 2 \text{ A};$$

$$I_{CA} = I_{AB} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{R^2 + X^2}} = -1,41.$$

Фазный угол токов: $\varphi = \text{arctg} \frac{X_C}{R} = 45^\circ$.

Линейные токи определим по векторной диаграмме на рис. 11.2, б.

Показания приборов равны:

$$I_{A1} = 0; I_{A2} = I_{A3} = 2,5.$$

$$I_{A4} = I_{A6} = 1,42; I_{A5} = 2 \text{ А.}$$

Задание на эксперимент

1. Собрать схему на рис. 11.3.

2. Измерить токи в схеме для следующих режимов работы: симметричный – $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA}$; несимметричный: $R_{AB} > R_{BC} = R_{CA}$; $R_{AB} < R_{BC} = R_{CA}$; неоднородная: емкость в фазе AB ; обрыв фазного провода; обрыв линейного провода.

Результаты измерений занести в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Нагрузка	$I_{ЛA},$ мА	$I_{ЛB},$ мА	$I_{ЛC},$ мА	$I_{AB},$ мА	$I_{BC},$ мА	$I_{CA},$ мА
Симметричная $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA}$						
$R_{AB} > R_{BC} = R_{CA}$						
$R_{AB} < R_{BC} = R_{CA}$						
Емкость в фазе AB						
Холостой ход фазы AB						
Обрыв линейного провода						

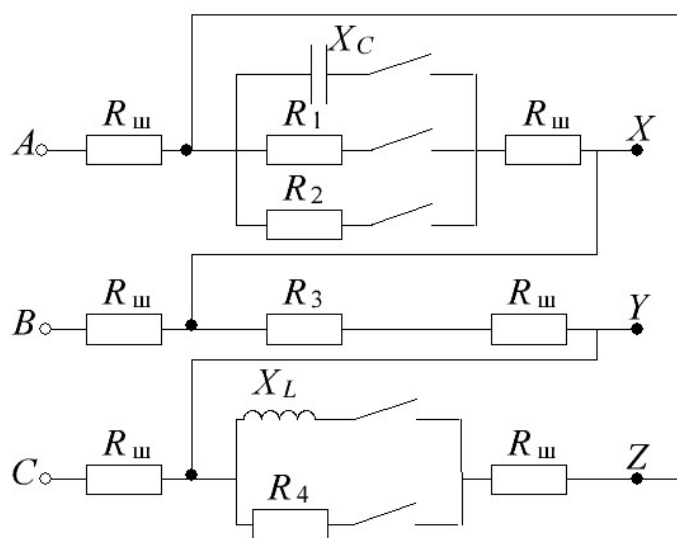


Рис. 11.3

Обработка результатов измерений

Построить векторные диаграммы для всех исследованных режимов работы трехфазной цепи.

Методические указания

1. Линейные напряжения трехфазного генератора и порядок чередования фаз определены в лабораторно-расчетной работе № 12.

2. При построении векторных диаграмм сопротивлениями шунтов можно пренебречь.

Вопросы для самопроверки

1. Построить векторную диаграмму фазных и линейных токов для схемы на рис. 11.4.

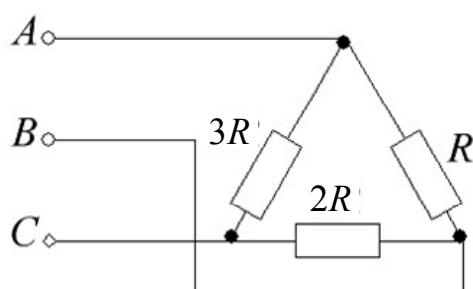


Рис. 11.4

2. Построить векторную диаграмму фазных и линейных токов для схемы на рис. 11.4 при обрыве фазного провода BC .

3. Построить векторную диаграмму токов для схемы на рис. 11.4 при обрыве линейного провода фазы C .

Литература

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1986. – 569 с.
2. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2014. – Т. 1. – 536 с.
3. Основы теории цепей / Г. В. Зевеке [и др.]. – М. : Энергия, 1989. – 527 с.
4. Шебес, М. Р. Задачник по теории линейных электрических цепей / М. Р. Шебес. – М. : Энергия, 1990. – 544 с.
5. Добротворский, И. Н. Лабораторный практикум по основам теории цепей / И. Н. Добротворский. – М. : Высш. шк., 1986. – 190 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Пример оформления титульного листа

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого»

Кафедра «Физика и электротехника»

Отчет
по лабораторно-расчетной работе № 3

РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Стенд № 1

Вариант 3

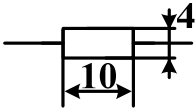
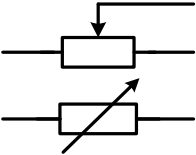
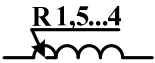
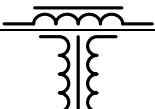

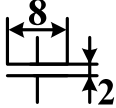
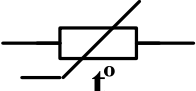
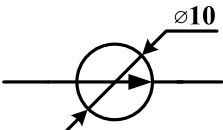
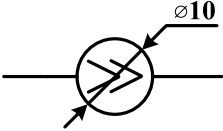
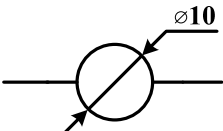
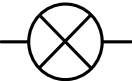
Выполнил студент группы ПЭ-21
Шпетный Е. А.

Принял доцент
Иванов И. И.

Гомель 2019

Приложение 2

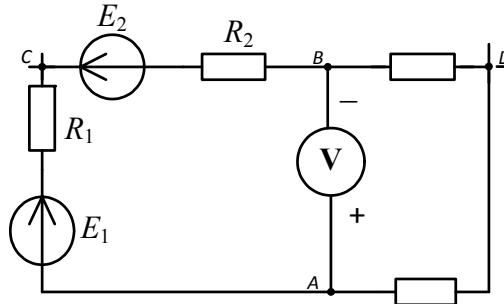
Графическое изображение некоторых элементов схем замещения

Наименования устройств и элементов	Обозначение
1. Резистор постоянный (нерегулируемый)	
2. Резистор переменный (регулируемый)	
3. Катушка индуктивности (дроссель без сердечника)	
4. Дроссель с ферромагнитным сердечником	
5. Трансформатор однофазный	
6. Конденсатор постоянной емкости	
7. Терморезистор (термистор) прямого подогрева	
8. Источник ЭДС	
9. Источник тока	
10. Прибор измерительный, показывающий	
11. Лампа накаливания осветительная	

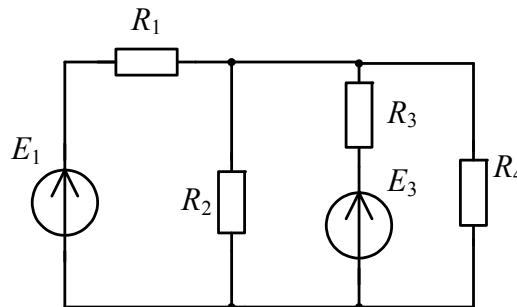
Задачи к защите лабораторно-расчетной работы № 1

Билет 1

1. Найти показания вольтметра, подключенного между точками A и B контура $ABCD$, входящего в сложную цепь, если: $E_1 = 20$ В; $E_2 = 10$ В; $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 10$ Ом; $I_1 = 2$ А; $I_2 = 1$ А.



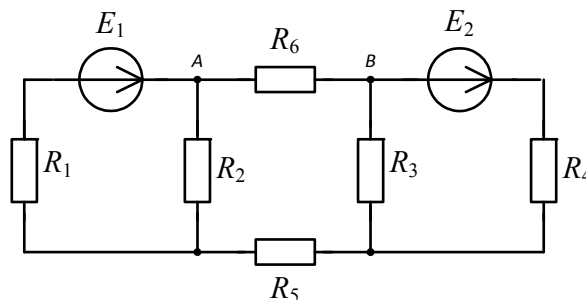
2. Заданную цепь относительно третьей ветви заменить эквивалентным генератором и определить его параметры при: $E_1 = 4$ В; $E_2 = 6$ В; $R_1 = 10$ Ом; $R_2 = R_4 = 2$ Ом; $R_3 = 0,5$ Ом.



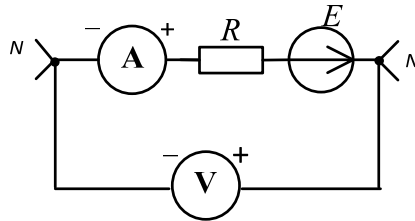
3. Найти ток во второй задаче методом наложения и сравнить результат.

Билет 2

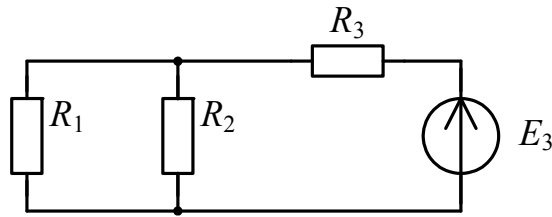
1. Найти показания амперметра в ветви MN цепи постоянного тока, если известно, что вольтметр показывает 20 В при $E = 10$ В; $R = 5$ Ом.



2. Определить ток в ветви AB методом эквивалентного генератора, если $R_6 = 2 \text{ Ом}$; $E_1 = 4 \text{ В}$; $E_2 = 4 \text{ В}$; $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 1 \text{ Ом}$.

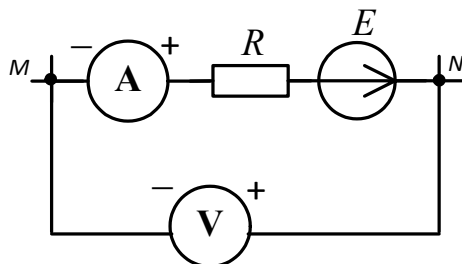


3. Определить ток в первой ветви, пользуясь принципом взаимности при $E_1 = 20 \text{ В}$; $R_1 = 8 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 4 \text{ Ом}$.

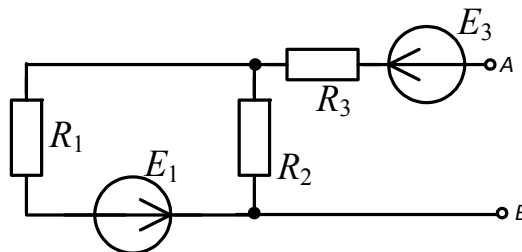


Билет 3

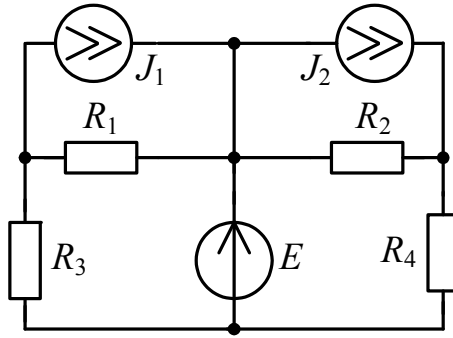
1. Найти показания вольтметра в ветви MN цепи постоянного тока, если известно, что амперметр показывает 2 А при $E = 10 \text{ В}$; $R = 5 \text{ Ом}$.



2. Определить параметры эквивалентного генератора по отношению к зажимам AB при $E_1 = 54 \text{ В}$; $E_3 = 12 \text{ В}$; $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 18 \text{ Ом}$; $R_3 = 5 \text{ Ом}$.

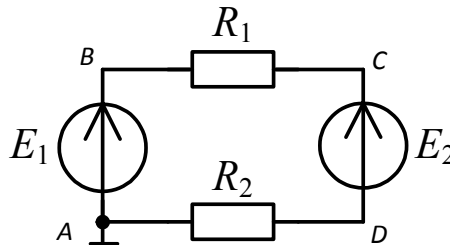


3. Составить системы уравнения для цепи по методам контурных токов и узловых потенциалов.

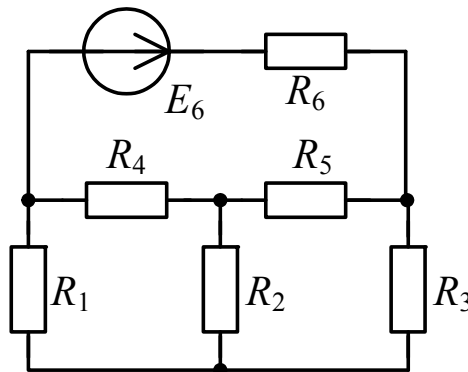


Билет 4

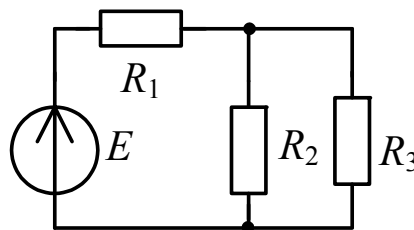
1. Показать, как надо включить вольтметр для измерения потенциала точки C по отношению к точке A и определить его, если $E_1 = 2$ В; $E_2 = 4$ В; $R_1 = R_2 = 1$ Ом.



2. Определить ток в сопротивлении R_6 методом эквивалентного генератора. Числовой ответ дать при $E_6 = 10$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = 3$ Ом; $R_4 = R_6 = 1$ Ом; $R_5 = 3$ Ом.

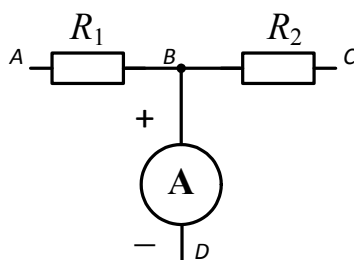


3. Определить ток в сопротивлении R_3 , используя принцип взаимности, если $R_1 = R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 3$ Ом; $E = 8$ В. Почему в заданной цепи ток целесообразно определять именно этим методом?

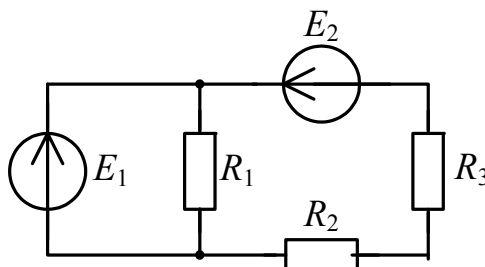


Билет 5

1. Определить показания амперметра в заданной схеме, если $R_1 = R_2 = 2 \text{ Ом}$; $\varphi_A = 20 \text{ В}$; $\varphi_D = 0 \text{ В}$; $\varphi_C = -40 \text{ В}$.



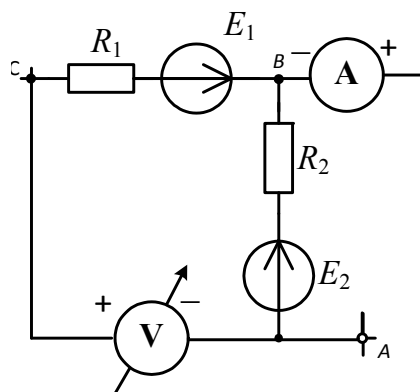
2. Определить ток ветви AB методом эквивалентного генератора, если $E_1 = 10 \text{ В}$; $E_2 = 5 \text{ В}$; $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$.



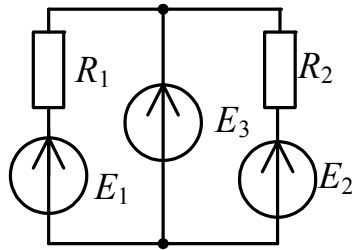
3. Проверить решение предыдущей задачи, используя принцип наложения.

Билет 6

1. На рисунке показана часть сложной цепи, определить токи в ветвях, если известно, что вольтметр показывает 70 В , амперметр — 8 А при $E_1 = 100 \text{ В}$; $E_2 = 130 \text{ В}$; $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 5 \text{ Ом}$.



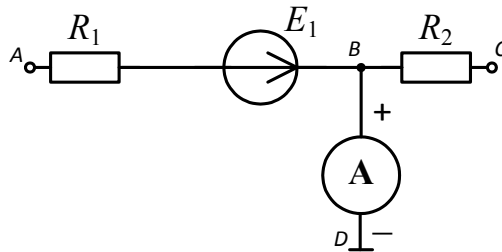
2. Применяя для решения заданной схемы наиболее рациональный метод, определить величину E_3 , чтобы ток через нее был равен нулю.



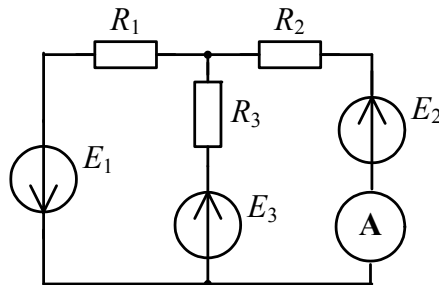
3. Составить для второй схемы систему уравнений в общем виде по методу контурных токов.

Билет 7

1. Определить показание амперметра в заданной схеме, если $R_A = 0 \text{ Ом}$; $\varphi_A = 30 \text{ В}$; $\varphi_C = -40 \text{ В}$; $E_1 = 10 \text{ В}$.



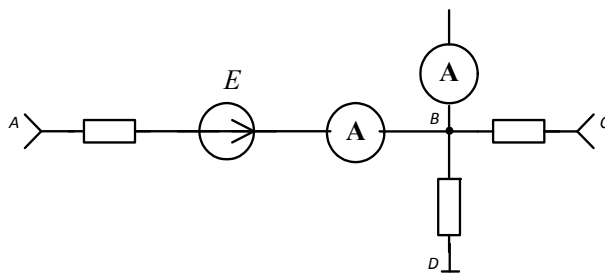
2. Определить показание амперметра, если $E_1 = E_2 = 10 \text{ В}$; $E_3 = 15 \text{ В}$; $R_1 = 10 \text{ Ом}$; $R_2 = 20 \text{ Ом}$.



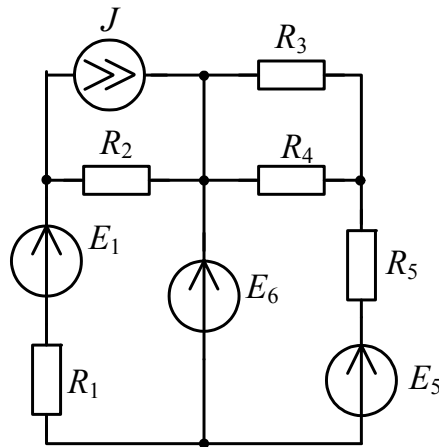
3. Составить для второй схемы систему уравнений в общем виде по методу контурных токов.

Билет 8

1. Определить показание амперметра, если $U_{AB} = 40 \text{ В}$; $U_{BC} = 20 \text{ В}$; $B_0 = 10 \text{ В}$.



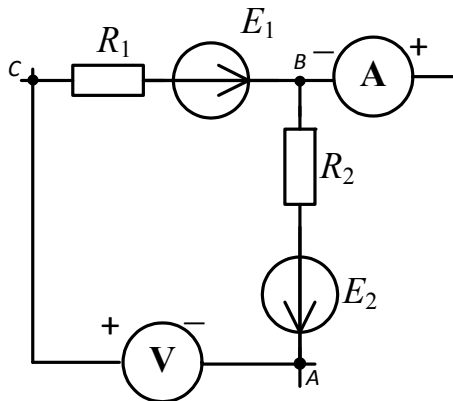
2. Определить ток в сопротивлении R_2 методом эквивалентного генератора, если $E_1 = E_5 = 20$ В; $E_6 = 10$ В; $I = 1$ А; $R_1 = R_3 = 10$ Ом; $R_2 = 20$ Ом; $R_4 = R_5 = 30$ Ом.



3. Записать уравнение для второй схемы по методу узловых потенциалов.

Билет 9

1. Найти величину и направление ЭДС E_2 , если известно, что вольтметр показывает 70 В, амперметр – 8 А при $E_1 = 100$ В; $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 5$ Ом.

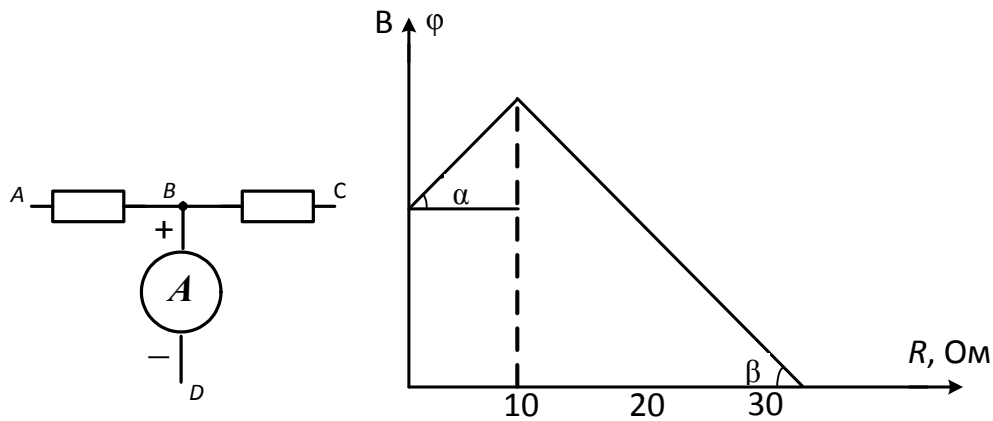


2. Заданную цепь относительно третьей ветви заменить эквивалентным генератором и определить его параметры при: $E_1 = 4$ В; $E_3 = 6$ В; $R_1 = 10$ Ом; $R_2 = R_4 = 2$ Ом; $R_3 = 0,5$ Ом.

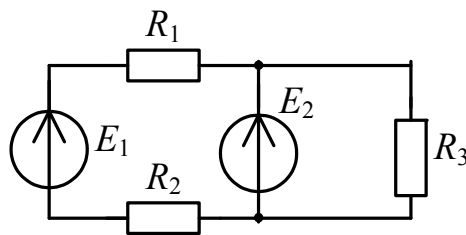
3. Составить для второй схемы системы уравнений в общем виде по методу токов и узловых потенциалов.

Билет 10

1. Задана потенциальная диаграмма, углы α и β равны. Определить показания амперметра.



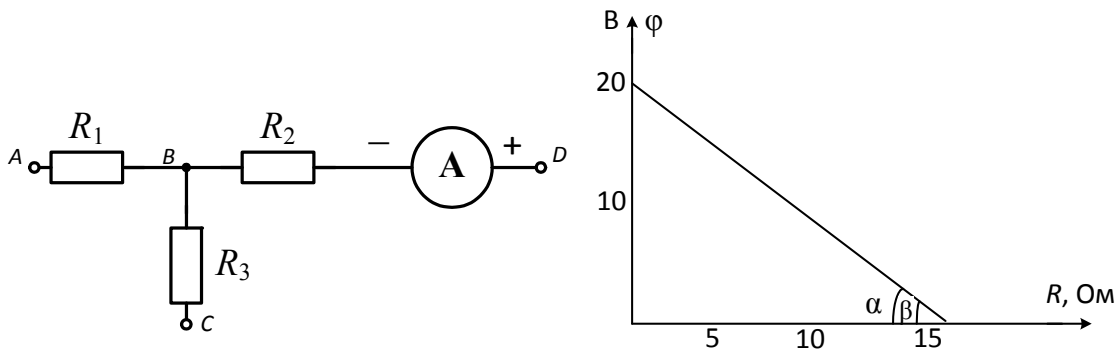
2. Определить ток в R_3 методом эквивалентного генератора, если $E_1 = 100$ В; $E_2 = 50$ В; $R_2 = 30$ Ом; $R_3 = 50$ Ом.



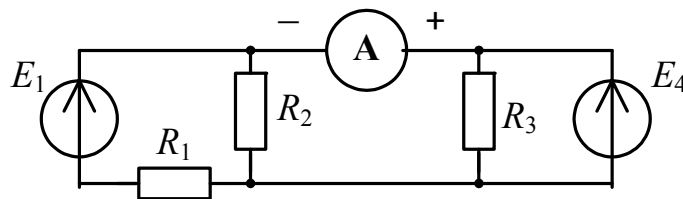
3. Проверить решение предыдущей задачи, используя принцип наложения.

Билет 11

1. Задана потенциальная диаграмма. Определить показание амперметра, если $R_1 = 5$ Ом, $\operatorname{tg}\alpha = 2\operatorname{tg}\beta$.



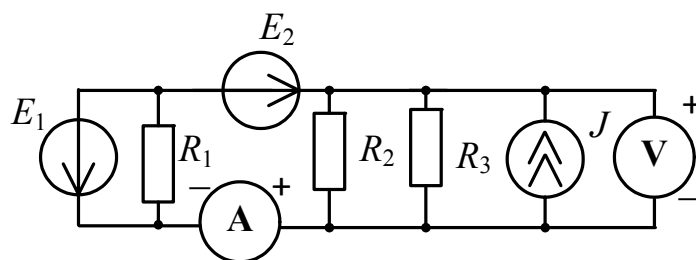
2. Найти показания амперметра методом эквивалентного генератора, если $E_1 = 10$ В; $E_4 = 15$ В; $R_1 = R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 1$ Ом.



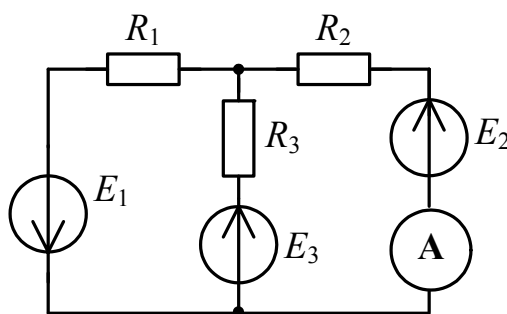
3. Записать уравнение для второй схемы по методу узловых потенциалов и методу контурных токов.

Билет 12

1. Определить величину и направление ЭДС E_2 , показания вольтметра и амперметра при $E_1 = 10$ В; $E_2 = 4$ В; $I = 1$ А; $R_1, R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 3$ Ом.



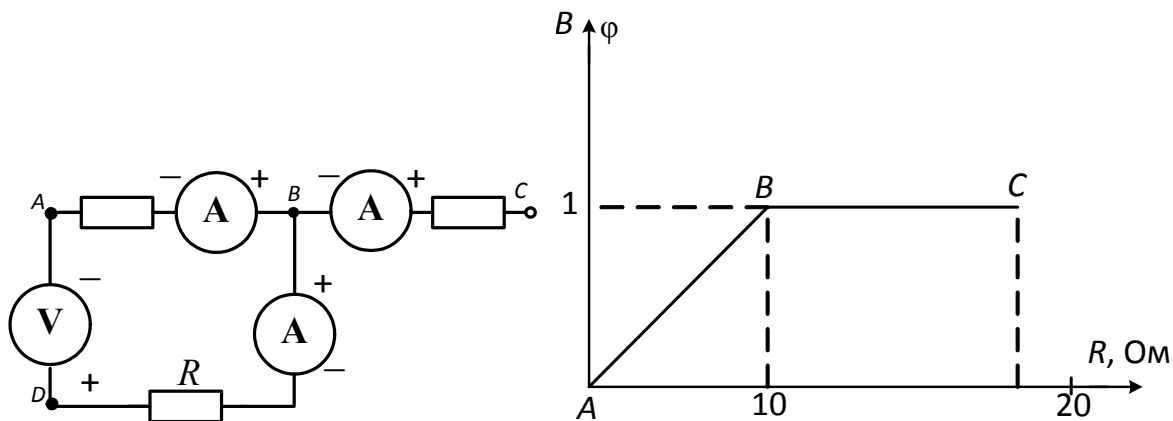
2. Определить показание амперметра, если $E_1 = E_2 = 10$ В; $E_3 = 15$ В; $R_1 = 10$ Ом; $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 30$ Ом.



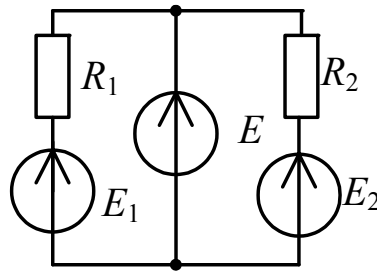
3. Составить для второй схемы систему уравнений в общем виде по методу контурных токов.

Билет 13

1. Задана потенциальная диаграмма. Определить показание амперметров и вольтметра, если $R = 5$ Ом.



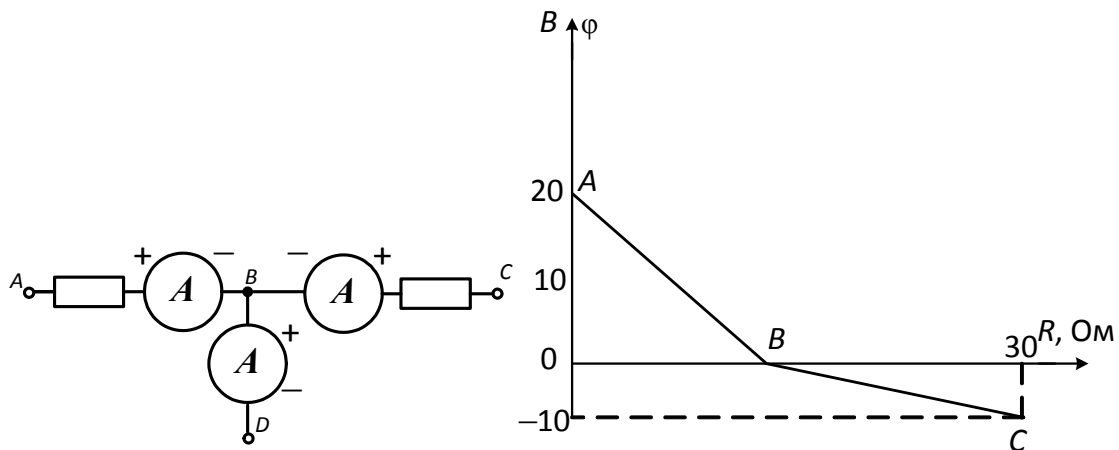
2. Применяя для расчета наиболее целесообразный метод, определить величину ЭДС E , чтобы ток через нее был равен нулю, если $E_1 = 80 \text{ В}$; $E_2 = 40 \text{ В}$; $R_1 = R_2 = 40 \text{ Ом}$.



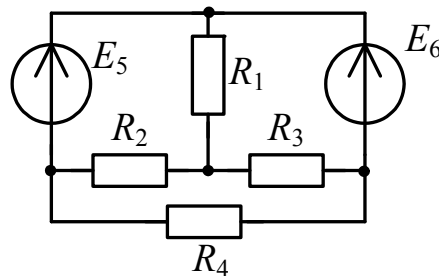
3. Методом узловых потенциалов проверить, что при найденной ЭДС E действительно ток через нее равен нулю.

Билет 14

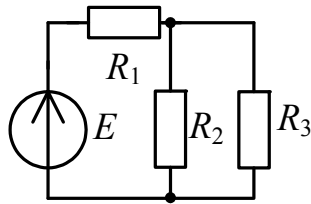
1. Задана потенциальная диаграмма для участка цепи. Определить показания приборов.



2. Определить ток в сопротивлении R_4 методом эквивалентного генератора, если $E_6 = 12 \text{ В}$; $E_5 = 6 \text{ В}$; $R_4 = 1 \text{ Ом}$; $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$.

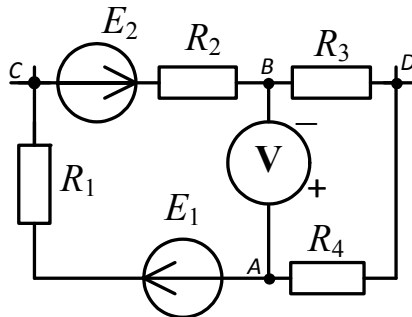


3. Определить ток в резисторе R_3 , используя принцип взаимности, если $E = 8 \text{ В}$; $R_3 = 1 \text{ Ом}$; $R_1 = R_2 = 2 \text{ Ом}$. Объяснить, почему ток целесообразно искать именно этим методом.

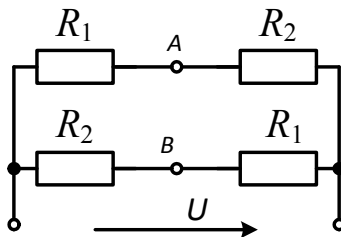


Билет 15

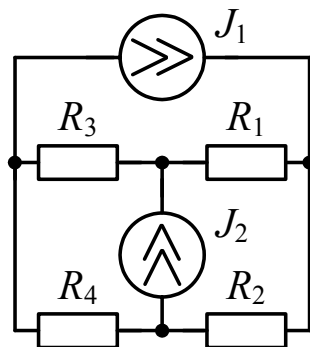
1. Найти показания V , подключенного между точками A, B контура $ABCD$, если известно, что $E_1 = 10 \text{ В}$; $E_2 = 20 \text{ В}$; $I_1 = 1 \text{ А}$; $I_2 = 2 \text{ А}$; $R_1 = 6 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$.



2. Заданную цепь относительно зажимов A, B заменить эквивалентным генератором и найти его параметры, если напряжение $U = 180 \text{ В}$; $R_1 = 30 \text{ Ом}$; $R_2 = 60 \text{ Ом}$.

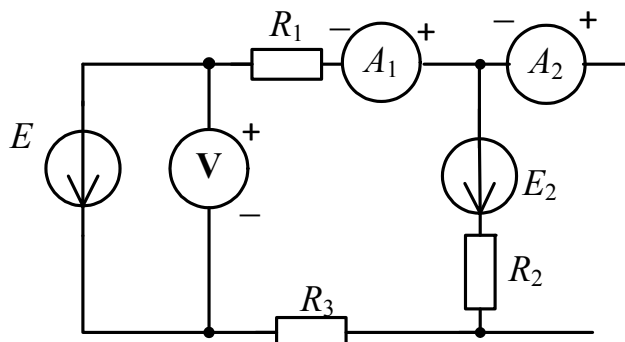


3. Записать уравнения для заданной цепи по методу узловых потенциалов.

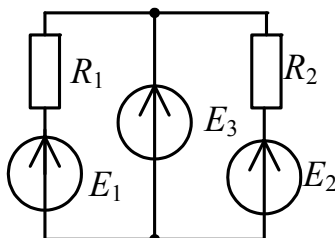


Билет 16

1. Определить показания вольтметра, если первый и второй амперметр показывают, соответственно, 1 А и 2 А при $E_2 = 10$ В; $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 5$ Ом. Определить также величину и полярность ЭДС E .



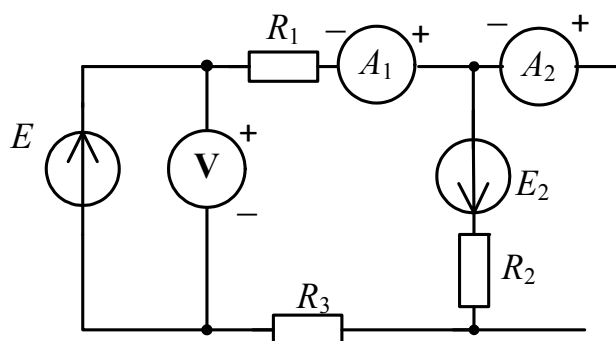
2. Определить ток в ветви с сопротивлением R_2 методом эквивалентного генератора, если $E_1 = 80$ В; $E_2 = 40$ В; $E_3 = 60$ В; $R_1 = R_2 = 40$ Ом.



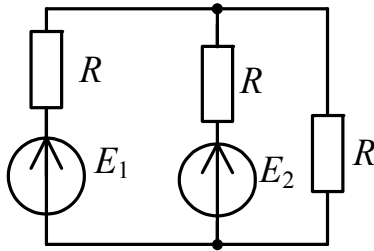
3. Проверить решение предыдущей задачи, используя метод наложения.

Билет 17

1. Определить показания амперметра A_2 и вольтметра, если первый амперметр показывает 1 А при $E_1 = 2$ В; $E_2 = 10$ В; $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 5$ Ом.



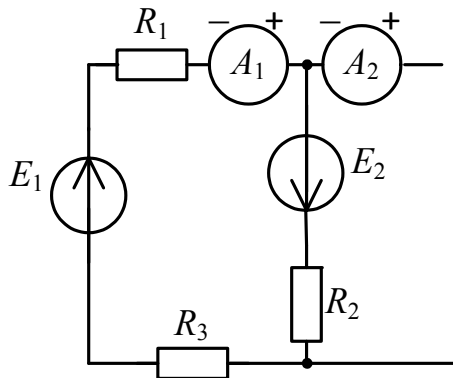
2. Определить величину ЭДС E_2 , если показания вольтметра и амперметра при $E_1 = 6$ В; $R = 20$ Ом; ток, проходящий через нее равен нулю. Применить наиболее целесообразный метод решения для этой схемы. Проверить решение методом узловых потенциалов.



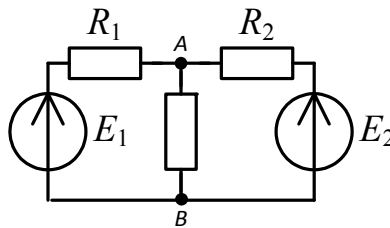
3. Составить систему уравнений по методу контурных токов для второй схемы.

Билет 18

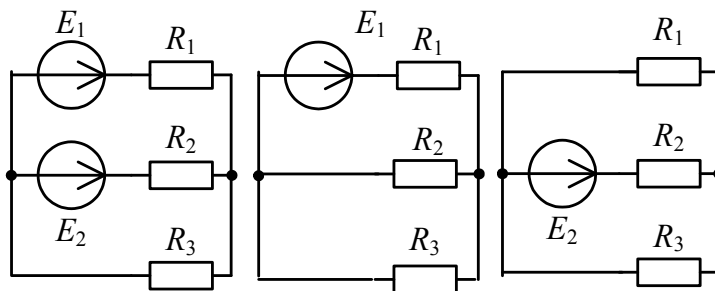
1. Определить величину и полярность ЭДС E_2 , если амперметры A_1 и A_2 показывают, соответственно, -1 А и 2 А при $E_1 = 10$ В; $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 5$ Ом.



2. Определить параметры эквивалентного генератора по отношению к ветви AB , если $E_1 = 10$ В; $E_2 = 7$ В; $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом.

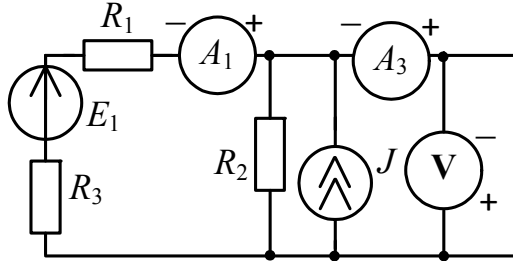


3. Определить мощность, потребляемую R_3 в первой схеме, если для нее в двух схемах было замерено: $I_3' = 2$ А; $U_3' = 4$ В; $I_3'' = 1$ А; $U_3'' = 2$ В; $U_3' = 4$ В; $I_3' = 2$ В; $I_3'' = 1$ В.

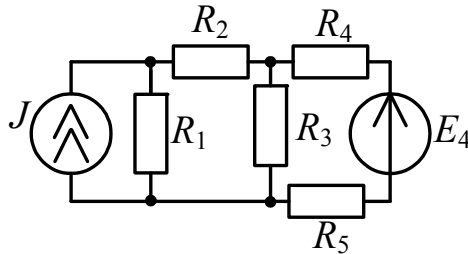


Билет 19

1. Определить показания вольтметра и амперметра A_3 , если амперметр A_1 показывает 1 А при $E_1 = 10$ В; $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 5$ Ом; $I = 1$ А.



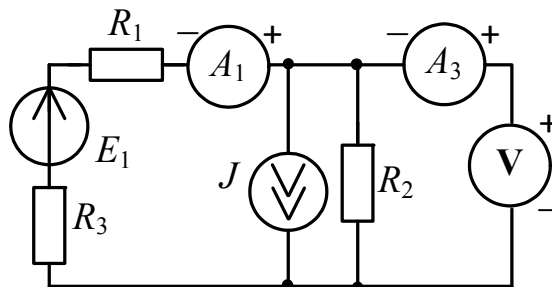
2. Определить ток в сопротивлении R_2 методом эквивалентного генератора, если $E_4 = 10$ В; $I_1 = 1$ А; $R_2 = 3$ Ом; $R_1 = R_3 = 2$ Ом; $R_4 = R_5 = 1$ Ом.



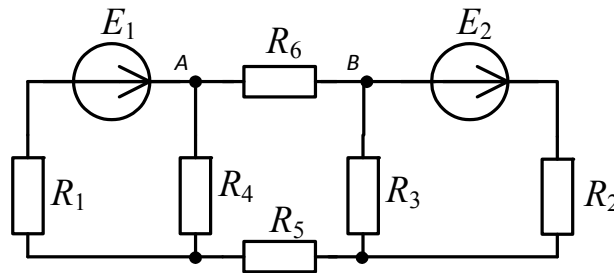
3. Записать систему уравнений по методу узловых потенциалов в общем виде для второй схемы.

Билет 20

1. Определить показания вольтметра и амперметра A_1 , если амперметр A_3 показывает 3 А при $E_1 = 10$ В; $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 5$ Ом; $I = 2$ А.



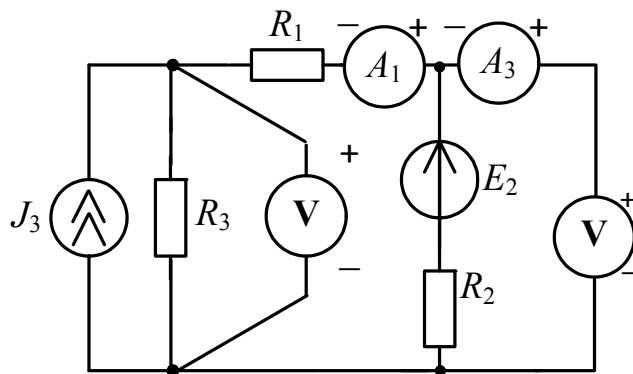
2. Определить параметры эквивалентного генератора по отношению к ветви AB , если $R_6 = 2 \text{ Ом}$; $E_1 = E_2 = 4 \text{ В}$; $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 1 \text{ Ом}$.



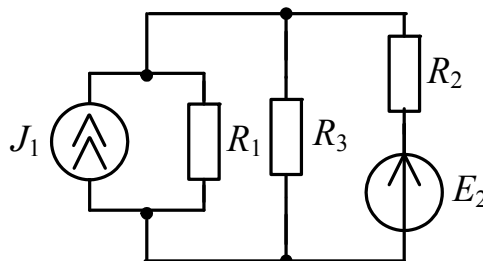
3. Записать систему уравнений по методу контурных токов в общем виде для второй схемы.

Билет 21

1. Определить показания вольтметров и амперметра A_3 , если амперметр A_1 показывает 1 А при $E_2 = 10 \text{ В}$; $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 5 \text{ Ом}$; $I_3 = 1 \text{ А}$.



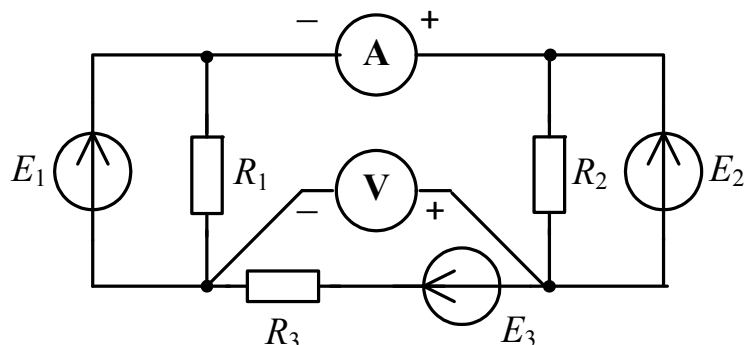
2. Найти ток в сопротивлении методом наложения (не преобразуя источник тока в источник ЭДС), если $I_1 = 9 \text{ мА}$; $E_2 = 240 \text{ В}$; $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ кОм}$.



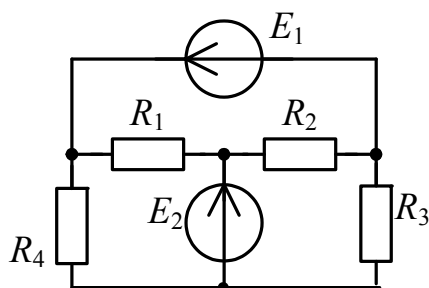
3. Решить предыдущую задачу методом эквивалентного генератора.

Билет 22

1. Определить показания вольтметра и амперметра, если $E_1 = 10$ В; $E_2 = 4$ В; $E_3 = 6$ В; $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 3$ Ом.



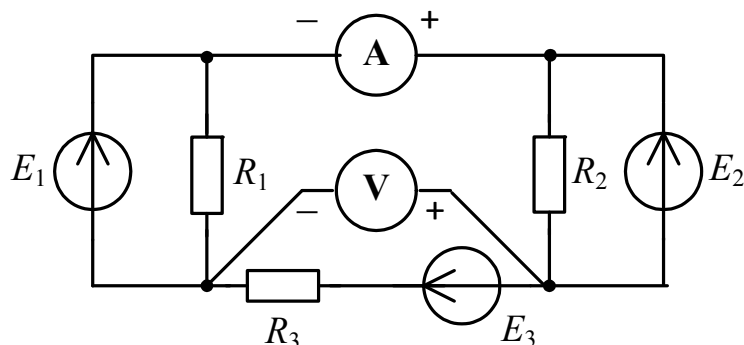
2. Определить ток через резистор R_4 методом наложения, если $E_1 = E_2 = 4$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2$ Ом.



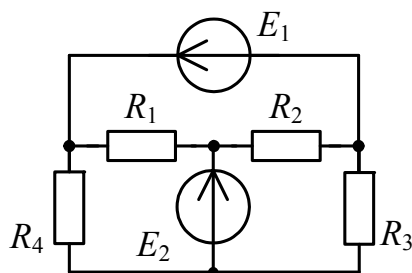
3. Пояснить на конкретной схеме, как опытным путем определить параметры эквивалентного генератора.

Билет 23

1. Определить величину и полярность ЭДС E_2 и показания амперметра, если вольтметр показывает +6 В при $E_1 = 10$ В; $E_3 = 6$ В; $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 3$ Ом.



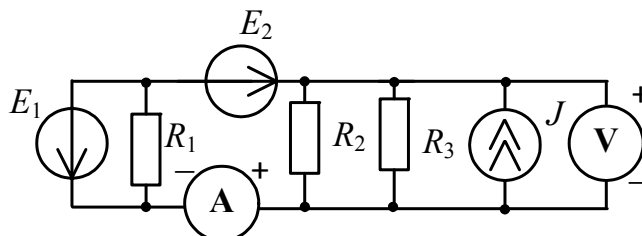
2. Определить ток через резистор R_3 методом наложения, если $E_1 = E_2 = 4$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2$ Ом.



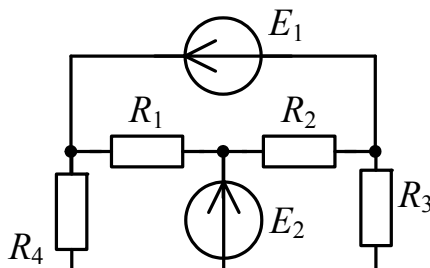
3. Объяснить, в чем заключается принцип взаимности (пояснить на конкретной схеме).

Билет 24

1. Найти показания вольтметра и амперметра при $E_1 = 10$ В; $E_2 = 4$ В; $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 3$ Ом; $J = 1$ А.



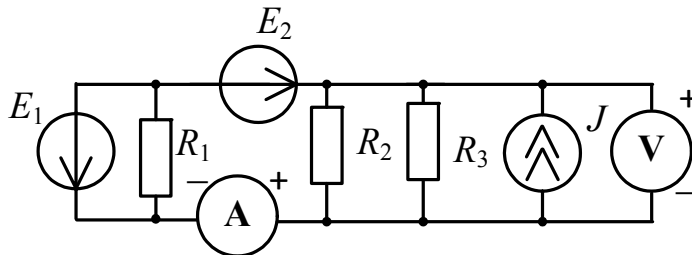
2. Определить ток через резистор R_2 методом наложения, если $E_1 = E_2 = 4$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2$ Ом.



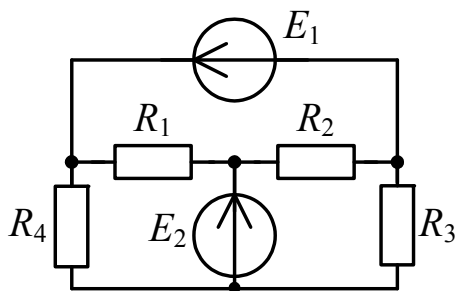
3. Проверить правильность определения показания амперметра в задаче 1 по методу эквивалентного генератора.

Билет 25

1. Определить величину и направление ЭДС E_2 , показания вольтметра и амперметра при $E_1 = 10$ В; $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 3$ Ом; $J = 1$ А.



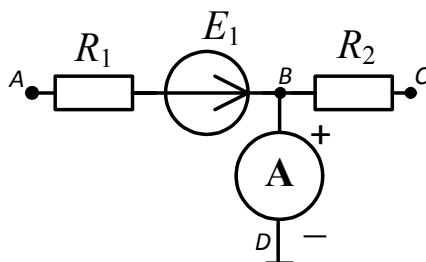
2. Определить ток через резистор R_1 методом наложения, если $E_1 = E_2 = 4$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2$ Ом.



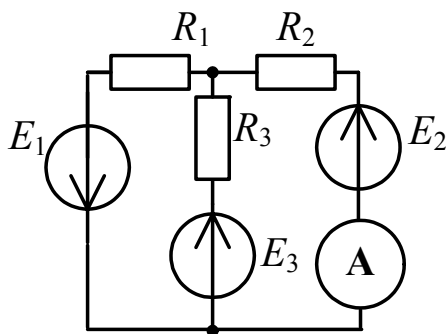
3. Составить систему уравнений в общем виде по методу контурных токов для второй схемы.

Билет 26

1. Определить показания амперметра в заданной схеме, если $U_{AB} = 30$ В; $U_{BC} = -40$ В; $E_1 = 10$ В.



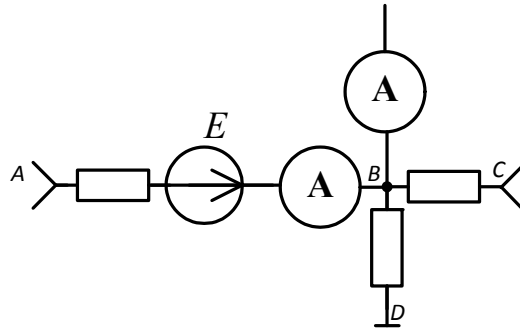
2. Определить показания амперметра, если $E_1 = E_2 = 10$ В; $E_3 = 15$ В; $R_1 = 10$ Ом; $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 30$ Ом.



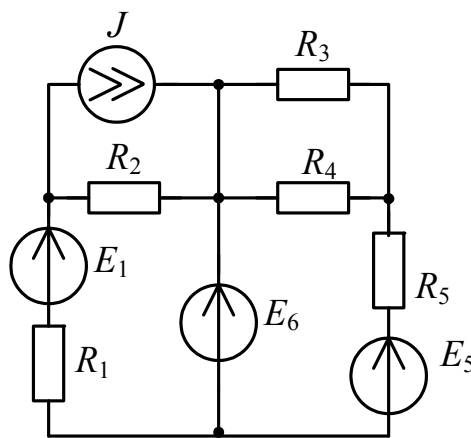
3. Составить для второй схемы систему уравнений в общем виде по методу контурных токов.

Билет 27

1. Определить показания амперметров, если $\varphi_A = 10$ В; $\varphi_B = 40$ В; $\varphi_C = 20$ В; $E = 50$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ Ом.



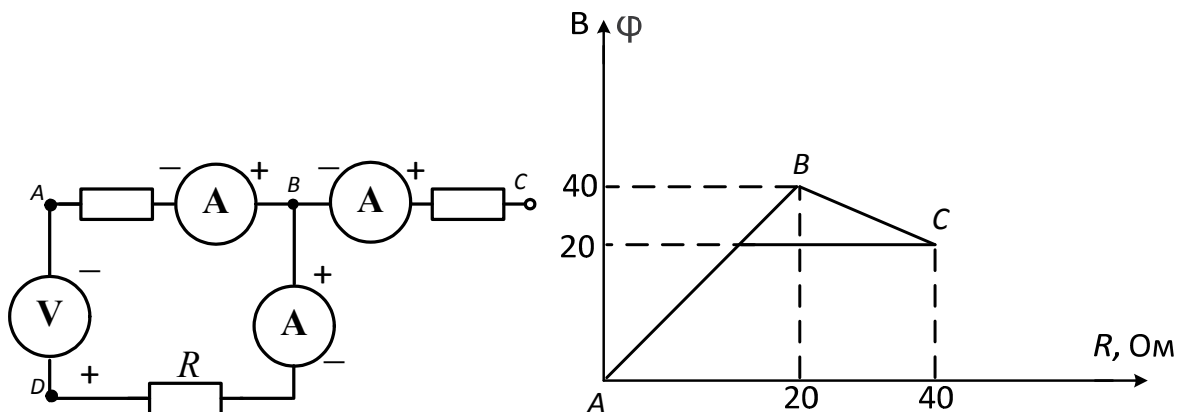
2. Определить ток в сопротивлении R методом эквивалентного генератора, если $E_1 = E_5 = 20$ В; $E_6 = 10$ В; $R_3 = 10$ Ом; $R_2 = 20$ Ом; $R_4 = R_5 = 30$ Ом.



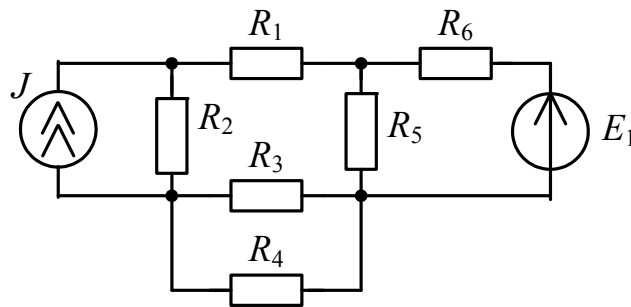
3. Записать уравнение для второй схемы по методу узловых потенциалов.

Билет 28

Задана потенциальная диаграмма. Определить показания амперметров и вольтметра, если $R = 10$ Ом.



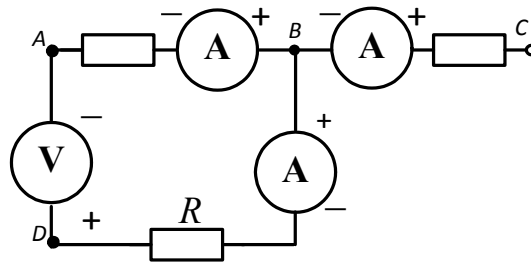
2. Определить ток в сопротивлении R_1 методом эквивалентного генератора, если $R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = R_4 = 5 \text{ Ом}$; $R_5 = R_6 = 15 \text{ Ом}$; $E_1 = 5 \text{ В}$; $I = 2 \text{ А}$.



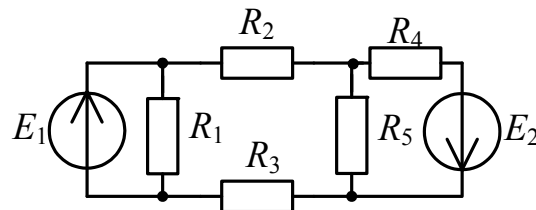
3. Записать уравнение для второй схемы по методу узловых потенциалов.

Билет 29

1. Определить показания амперметра, если вольтметр показывает 20 В при $I = 1 \text{ А}$; $R_1 = 10 \text{ Ом}$.



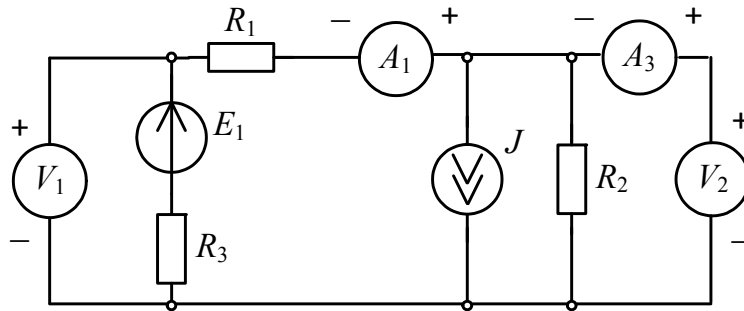
2. Определить ток в сопротивлении R_1 методом эквивалентного генератора, если $R_1 = R_3 = 10 \text{ Ом}$; $R_4 = R_5 = 20 \text{ Ом}$; $R_2 = 5 \text{ Ом}$; $E_1 = 10 \text{ В}$; $E_2 = 5 \text{ В}$.



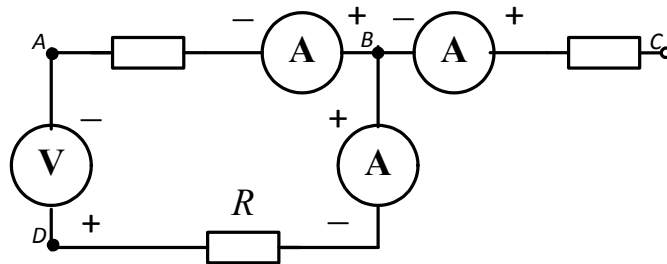
3. Записать уравнение для второй схемы по методу узловых потенциалов.

Билет 30

1. Определить показания вольтметра V_2 и амперметра A_1 , если амперметр A_3 показывает 2 А ; $V_1 = 10 \text{ В}$ при $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $I = 1 \text{ А}$.



2. Определить ток в сопротивлении R_1 методом эквивалентного генератора, если $R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = R_4 = 5 \text{ Ом}$; $R_5 = R_6 = 15 \text{ Ом}$; $E_1 = 5 \text{ В}$; $I = 2 \text{ А}$.

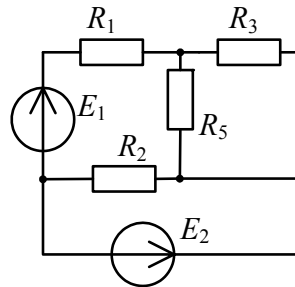


3. Записать уравнения для первой схемы по методу узловых потенциалов.

Задачи к защите лабораторно-расчетной работы № 3

Билет 1

1. Найти методом эквивалентного генератора ток I_5 при $R_1 = 2,5$ Ом; $R_2 = 8$ Ом; $R_3 = 10$ Ом; $R_4 = 2$ Ом; $E_1 = 130$ В; $E_2 = 80$ В.

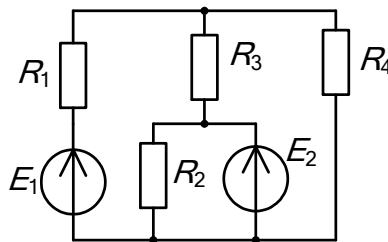


2. Определить токи в ветвях методом узловых потенциалов. Проверить расчет по законам Кирхгофа, если $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 4$ Ом; $R_3 = 8$ Ом; $R_4 = 3$ Ом; $E_1 = 5$ В; $E_2 = 6$ В.

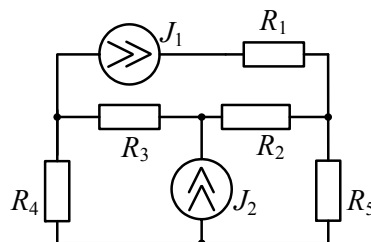
3. Изложить основные сведения об источниках напряжения, источниках тока и их эквивалентности.

Билет 2

1. Методом эквивалентного генератора ток в сопротивлении R_3 при $R_1 = 4$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 1,6$ Ом; $R_4 = 6$ Ом; $E_1 = 20$ В; $E_2 = 10$ В.



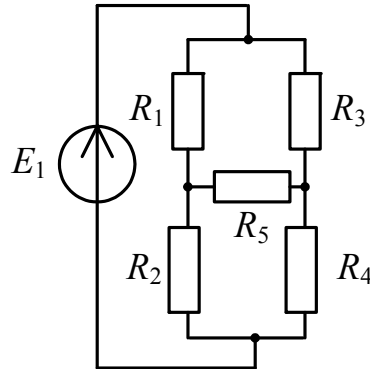
2. Определить токи в ветвях методом контурных токов, если $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 6$ Ом; $R_3 = 4$ Ом; $R_4 = 2$ Ом; $R_5 = 8$ Ом; $E_1 = 5$ В; $E_2 = 6$ В; $J_1 = 20$ А; $J_2 = 10$ А.



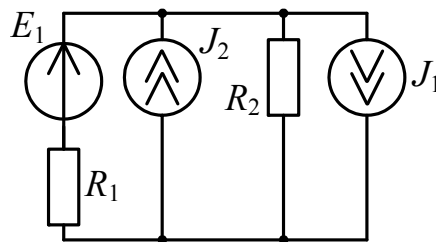
3. Проверить баланс мощностей в цепи задачи 2.

Билет 3

1. Определить ток в сопротивлении R_5 методом эквивалентного генератора, при $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 3 \text{ Ом}$; $R_3 = 7 \text{ Ом}$; $R_4 = 3 \text{ Ом}$; $R_5 = 2,7 \text{ Ом}$; $E_1 = 10 \text{ В}$.



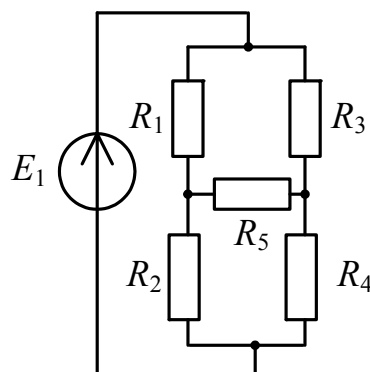
2. Выбрать рациональный метод расчета и найти токи во всех ветвях. Сделать проверку по балансу мощностей при $R_1 = R_2 = 5 \text{ Ом}$; $E = 10 \text{ В}$; $J_1 = 20 \text{ А}$; $J_2 = 10 \text{ А}$.



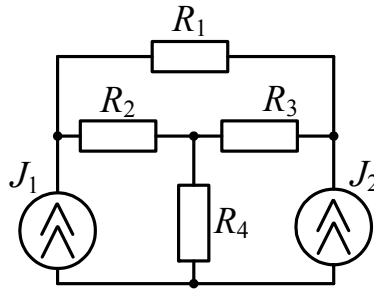
3. Составить систему уравнений по законам Кирхгофа для проверки расчета цепи задачи 2.

Билет 4

1. Определить ток в сопротивлении R_5 методом эквивалентного генератора, при $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 2,5 \text{ Ом}$; $R_4 = 2,5 \text{ Ом}$; $R_5 = 0,55 \text{ Ом}$; $E_1 = 15 \text{ В}$.



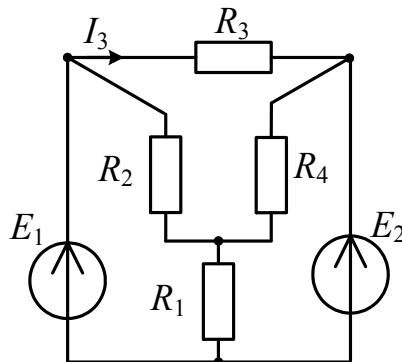
2. Определить напряжение на сопротивлении R_1 , если $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 1 \text{ Ом}$; $J_1 = 12 \text{ А}$; $J_2 = 8 \text{ А}$.



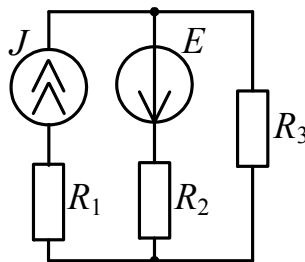
3. В сложной цепи, где действует несколько ЭДС, ток в каждой ветви может быть найден путем наложения частичных токов от действия каждой ЭДС в отдельности. Можно ли определить мощности ветвей суммированием мощностей, обусловленных частными токами?

Билет 5

1. Найти ток I_3 методом эквивалентного генератора при $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$; $R_2 = 5 \text{ Ом}$; $R_3 = 5 \text{ Ом}$; $R_4 = 10 \text{ Ом}$; $E_1 = 20 \text{ В}$; $E_2 = 10 \text{ В}$.



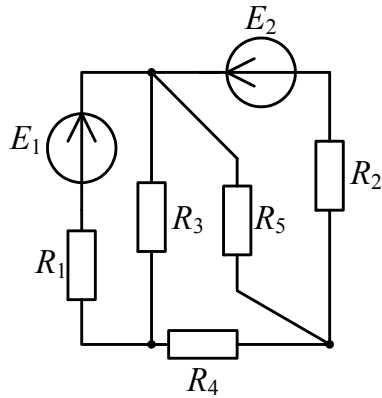
2. Определить мощность P_1 , генерируемую источником тока, если $R_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$; $J = 5 \text{ А}$; $E = 50 \text{ В}$.



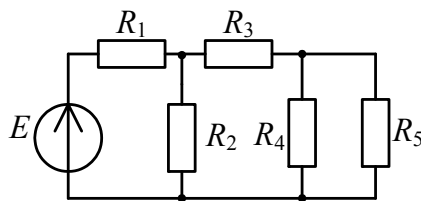
3. Рассчитать цепь задачи 2 методом контурных токов.

Билет 6

1. Определить ток в I_5 методом эквивалентного генератора при $R_1 = R_3 = 4 \text{ Ом}$; $R_2 = 6 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $R_5 = 1,6 \text{ Ом}$; $E_1 = 16 \text{ В}$; $E_2 = 8 \text{ В}$.



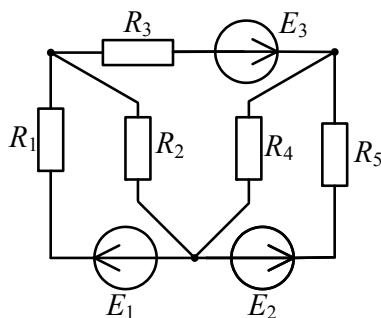
2. Определить ток в сопротивлении R_3 методом взаимности при $R_1 = R_2 = 3 \text{ Ом}$; $R_3 = 1,5 \text{ Ом}$; $R_4 = R_5 = 4 \text{ Ом}$; $E = 10 \text{ В}$.



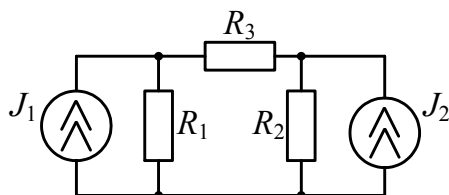
3. Записать систему уравнений по методу узловых потенциалов для цепи задачи 1.

Билет 7

1. Определить ток через сопротивление R_3 методом эквивалентного генератора при $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = R_3 = 8 \text{ Ом}$; $R_4 = 4 \text{ Ом}$; $R_5 = 6 \text{ Ом}$; $E_1 = E_2 = 20 \text{ В}$; $E_3 = 30 \text{ В}$.



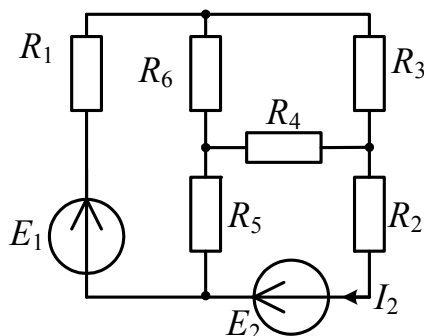
2. Рассчитать цепь методом узловых потенциалов, проверить решения, заменив источники тока источниками ЭДС при $R_1 = 20 \text{ Ом}$; $R_2 = 50 \text{ Ом}$; $R_3 = 40 \text{ Ом}$; $J_1 = 10 \text{ А}$; $J_2 = 15 \text{ А}$.



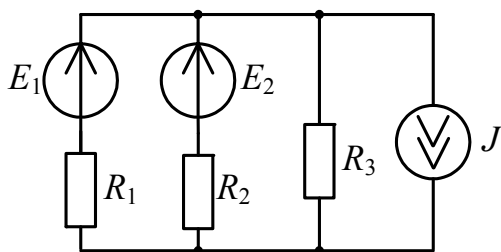
3. Проверить баланс мощностей задачи 2.

Билет 8

1. Определить ток в I_2 методом эквивалентного генератора при $R_1 = R_2 = R_5 = 1 \text{ Ом}$; $R_3 = R_4 = R_6 = 3 \text{ Ом}$; $E_1 = 12 \text{ В}$; $E_2 = 3 \text{ В}$.



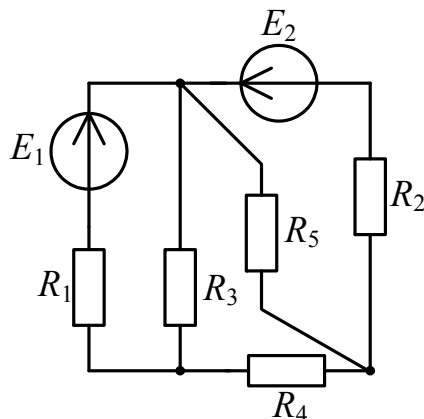
2. Сделать расчет электрической цепи методом узловых потенциалов при $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 6 \text{ Ом}$; $E_1 = 9 \text{ В}$; $E_2 = 12 \text{ В}$; $J = 3 \text{ А}$.



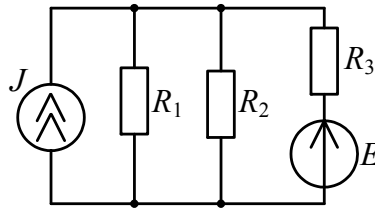
3. Изложить суть метода наложения на примере цепи задачи 2.

Билет 9

1. Определить ток I_5 методом эквивалентного генератора при $R_1 = R_5 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 6 \text{ Ом}$; $R_3 = 4 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $E_1 = 7 \text{ В}$; $E_2 = 12 \text{ В}$.



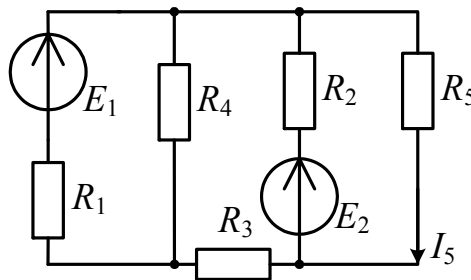
2. Рассчитать цепь методом узловых потенциалов при $R_1 = 20 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 5 \text{ Ом}$; $J = 10 \text{ А}$; $E = 100 \text{ В}$.



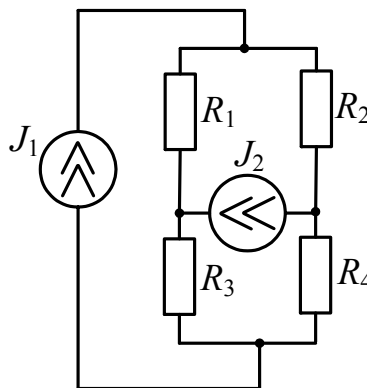
3. Изложить суть метода расчета цепей по законам Кирхгофа на примере цепи задачи 2.

Билет 10

1. Определить ток I_5 методом эквивалентного генератора при $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = R_4 = 2 \text{ Ом}$; $R_5 = 6 \text{ Ом}$; $E_1 = 6 \text{ В}$; $E_2 = 12 \text{ В}$.



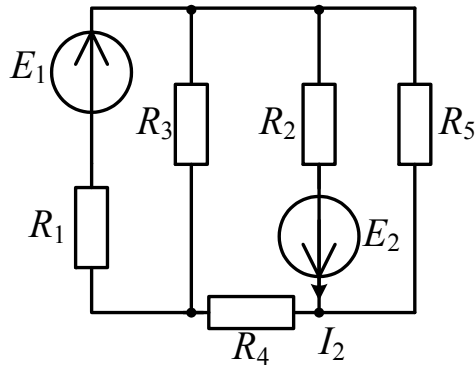
2. Определить токи во всех ветвях методом наложения, проверить по законам Кирхгофа при $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 1 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $J_1 = 15 \text{ А}$; $J_2 = 12$.



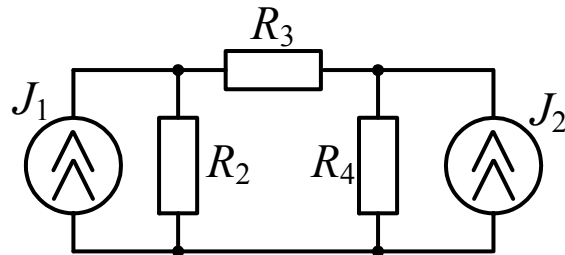
3. Изложить основные сведения об источниках напряжения, источниках тока и их эквивалентности.

Билет 11

1. Методом эквивалентного генератора определить сопротивление R_2 . Направление тока I_2 задано на рисунке, если известно: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 4 \text{ Ом}$; $E_1 = 40 \text{ В}$; $E_2 = 12 \text{ В}$; $I_2 = 1 \text{ А}$.



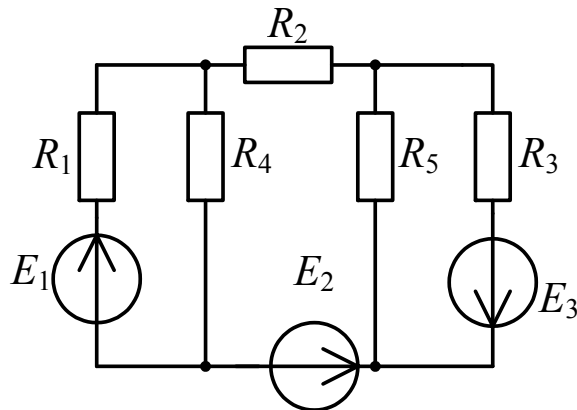
2. Найти все токи, применяя метод наложения, при $R_2 = 5 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $J_1 = 10 \text{ А}$; $J_2 = 5 \text{ А}$.



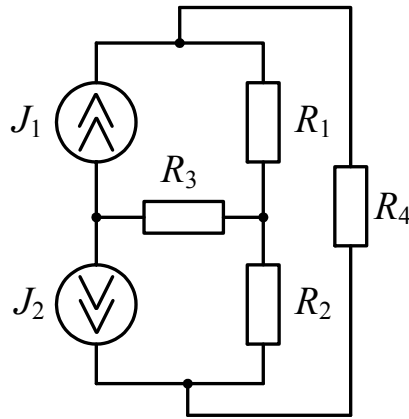
3. Записать систему уравнений для расчета цепи задачи 2 методом контурных токов.

Билет 12

1. Определить ток I_3 методом эквивалентного генератора при $R_1 = 15 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 5 \text{ Ом}$; $R_4 = R_5 = 10 \text{ Ом}$; $E_1 = 50 \text{ В}$; $E_2 = 60 \text{ В}$; $E_3 = 40 \text{ В}$.



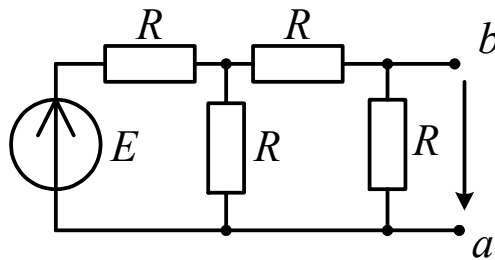
2. Найти все токи методом наложения $R_1 = R_2 = 3 \text{ Ом}$ при $R_3 = 5 \text{ Ом}$; $R_4 = 3 \text{ Ом}$; $J_1 = 3 \text{ А}$; $J_2 = 9 \text{ А}$.



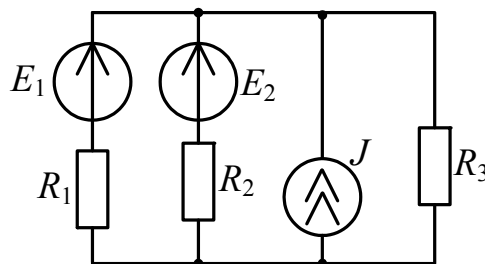
3. Записать систему уравнений по методу узловых потенциалов для цепи задачи 1.

Билет 13

1. Идеальный вольтметр, подключенный к зажимам a, b , показывал 60 В, амперметр, включенный между зажимами a, b , показал 1,5 А. Что покажет вольтметр с внутренним сопротивлением $R_x = 560 \text{ Ом}$, если его включить между зажимами, a, b ?



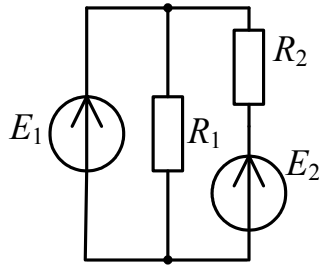
2. Определить токи в ветвях методом узловых потенциалов. Проверить расчет по законам Кирхгофа, если $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 12 \text{ Ом}$; $E_1 = 20 \text{ В}$; $E_2 = 16 \text{ В}$; $J = 6 \text{ А}$.



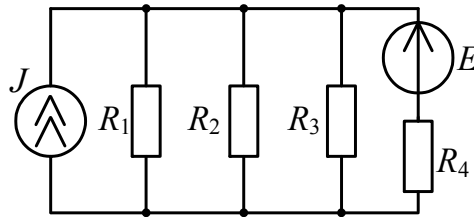
3. Изложить суть метода взаимности для расчета цепей.

Билет 14

1. Найти все токи методом наложения $R_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = 3 \text{ Ом}$; $E_1 = 15 \text{ В}$; $E_2 = 12 \text{ В}$.



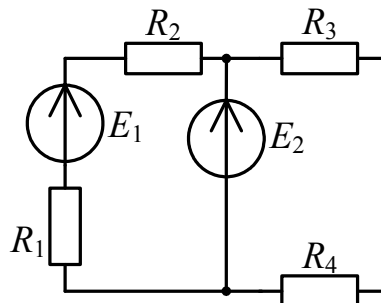
2. Определить токи в ветвях методом узловых потенциалов, проверить расчет по законам Кирхгофа, если $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 12 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $E = 24 \text{ В}$; $J = 6 \text{ А}$.



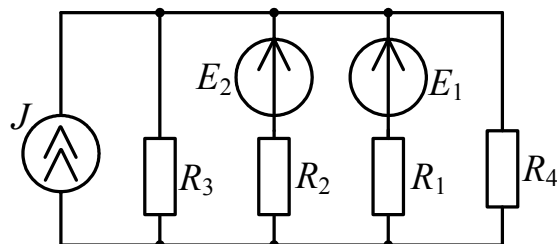
3. Составить систему уравнений для расчета цепи задачи 2 методом контурных токов.

Билет 15

1. Найти все токи методом наложения, если $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 1 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$; $R_4 = 4 \text{ Ом}$; $E_1 = 10 \text{ В}$; $E_2 = 4,8 \text{ В}$.



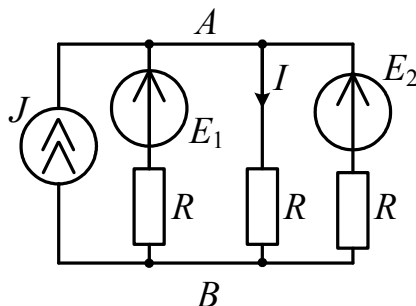
2. Определить токи в ветвях методом узловых потенциалов, проверить расчет по законам Кирхгофа, если $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 0,5 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$; $R_4 = 0,5 \text{ Ом}$; $E_1 = 40 \text{ В}$; $E_2 = 20 \text{ В}$; $J = 10 \text{ А}$.



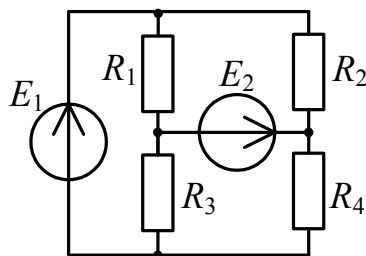
3. Рассчитать ток в ветви с R_4 (задача 2) методом эквивалентного генератора.

Билет 16

1. Определить ток в ветви AB методом эквивалентного генератора, если $E_1 = 2$ В; $E_2 = 4$ В; $R_1 = 1$ Ом; $J = 2$ А.



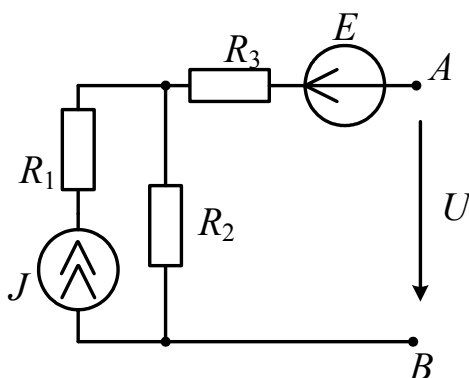
2. Найти токи в сопротивлениях R_1, R_2 методом наложения $E_1 = 110$ В; $E_2 = 220$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ Ом; $R_4 = 15$ Ом.



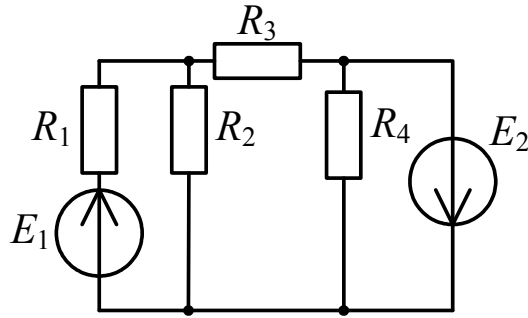
3. Записать систему уравнений по методу контурных токов для цепи задачи 1.

Билет 17

1. Определить параметры эквивалентного генератора по отношению к зажимам AB , если $E = 12$ В; $R_1 = 8$ Ом; $R_2 = 18$ Ом; $R_3 = 5$ Ом; $J = 2$ А.



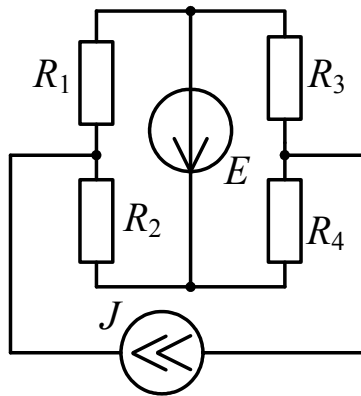
2. Определить токи методом узловых потенциалов, сделать проверку по законам Кирхгофа, если $E_1 = 5$ В; $E_2 = 6$ В; $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 4$ Ом; $R_3 = 8$ Ом; $R_4 = 10$ Ом.



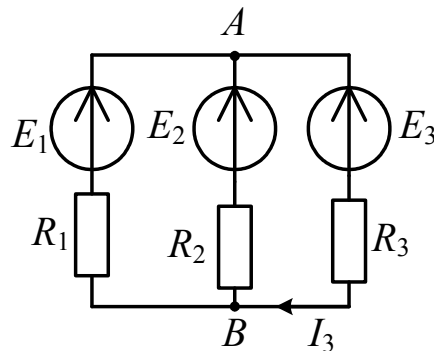
3. Для каких цепей справедлив принцип наложения? Можно ли по методу наложения определить мощности в ветвях?

Билет 18

1. Найти токи в сопротивлениях R_1 , R_2 методом наложения, если $E = 100$ В; $R_1 = 4$ Ом; $R_2 = 6$ Ом; $R_3 = 8$ Ом; $R_4 = 2$ Ом; $J = 4$ А.



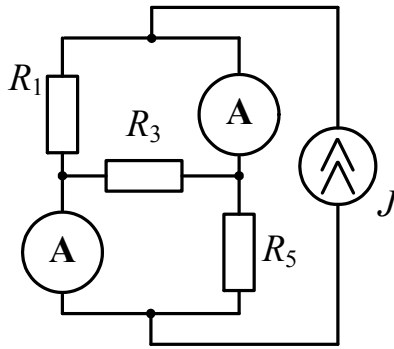
2. Чему равен ЭДС E_3 , если $U_{AB} = 20$ В; $E_1 = 20$ В; $E_2 = 30$ В; $R_1 = 10$ Ом; $R_2 = 5$ Ом; $R_3 = 10$ Ом.



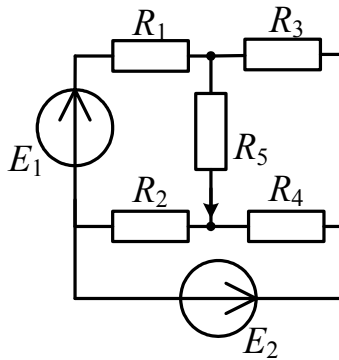
3. Для цепи задачи 2 вместо U_{AB} задана величина $I_3 = 4$ А. Определить E_3 методом эквивалентного генератора.

Билет 19

1. Определить показания амперметров, если $J = 3$ А; $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 0$ Ом; $R_3 = 6$ Ом; $R_4 = 0$ Ом; $R_5 = 2$ Ом.



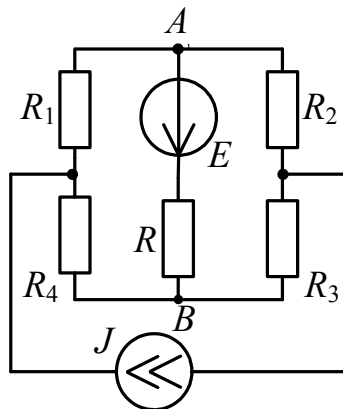
2. Найти ток I_5 методом эквивалентного генератора, если $R_1 = 4 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 6 \text{ Ом}$; $R_4 = 8 \text{ Ом}$; $R_5 = 3 \text{ Ом}$; $E_1 = 20 \text{ А}$; $E_2 = 10 \text{ А}$.



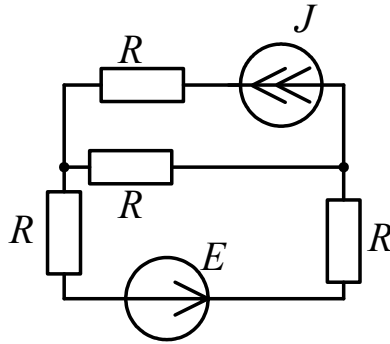
3. Записать систему уравнений методом узловых потенциалов для цепи задачи 2.

Билет 20

1. Найти ток в ветви AB методом эквивалентного генератора, если $E = 10 \text{ В}$; $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 4 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $R = 8 \text{ Ом}$; $J = 9 \text{ А}$.



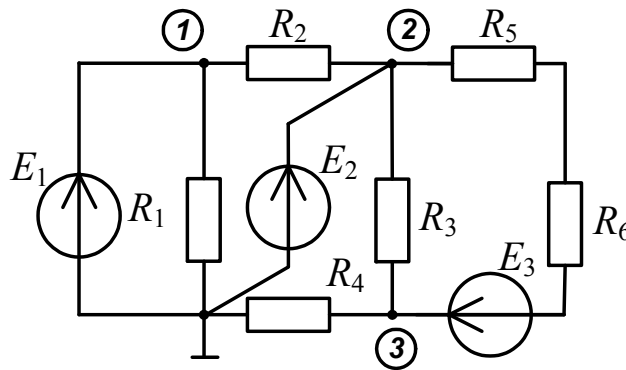
2. Найти все токи. Сделать проверку по балансу мощностей, если $R = 8 \text{ Ом}$; $E = 9 \text{ В}$; $J = 9 \text{ А}$.



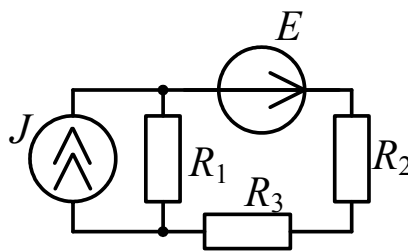
3. В чем заключается принцип взаимности? Соблюдается или нет принцип взаимности в нелинейных цепях?

Билет 21

1. Методом узловых потенциалов определить потенциал третьего узла, если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2 \text{ Ом}$; $R_5 = R_6 = 0,5 \text{ Ом}$; $E_1 = E_2 = 4 \text{ А}$; $E_3 = 10 \text{ В}$.



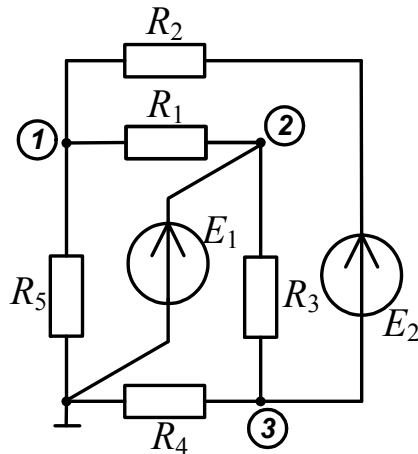
2. Определить мощности источников, если $E = 10 \text{ В}$; $J = 1 \text{ А}$; $R_1 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = R_3 = 0,5 \text{ Ом}$.



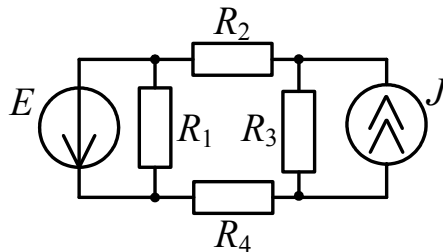
3. Что означает отрицательная величина мощности, выделяемой источником?

Билет 22

1. Методом узловых потенциалов определить потенциалы узлов, если $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ Ом}$; $R_5 = R_6 = 2 \text{ Ом}$; $E_1 = 4,5 \text{ А}$; $E_2 = 3,5 \text{ В}$.



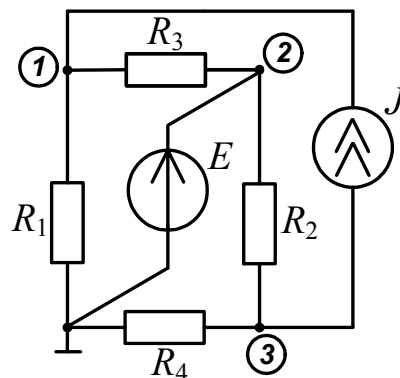
2. Чему равна мощность выделяемая каждым источником, если $E = 6 \text{ В}$; $J = 3 \text{ А}$; $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ Ом}$.



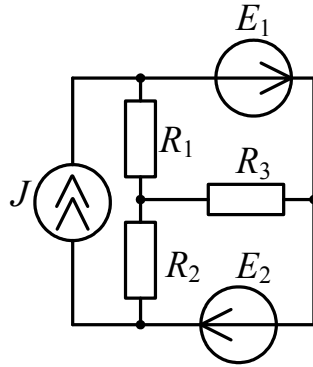
3. Сохранится ли мощность источников при их эквивалентной замене?

Билет 23

1. Определить потенциал узлов, если $E = 4 \text{ В}$; $J = 1 \text{ А}$; $R_1 = R_4 = 1 \text{ Ом}$; $R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$.



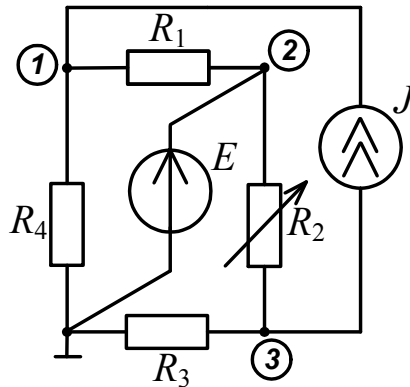
2. Чему равна мощность, выделяемая источниками питания? Проверить баланс мощностей, если $E_1 = 3 \text{ В}$; $E_2 = 6 \text{ В}$; $J = 5 \text{ А}$; $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$.



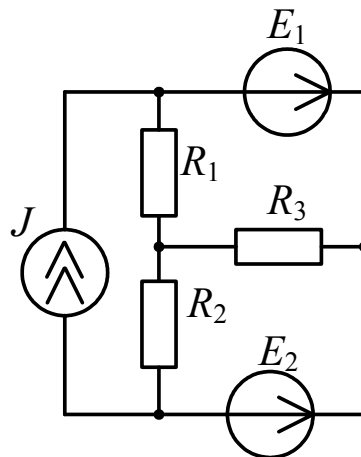
3. Какие источники в предыдущей задаче потребляют мощности, а какие – вырабатывают?

Билет 24

1. Построить зависимость $P_2 = f(R_2)$, если дано $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$; $E = 8 \text{ В}$; $J = 4 \text{ А}$.



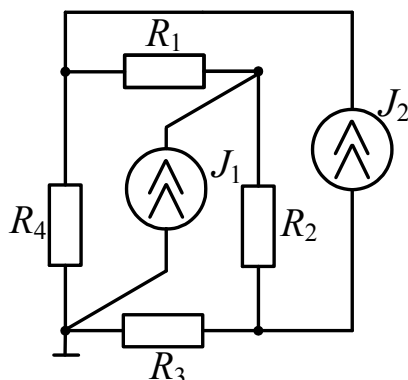
2. Определить мощность, выделяемую источником тока, если $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$; $E_1 = E_2 = 3 \text{ А}$; $J = 5 \text{ А}$.



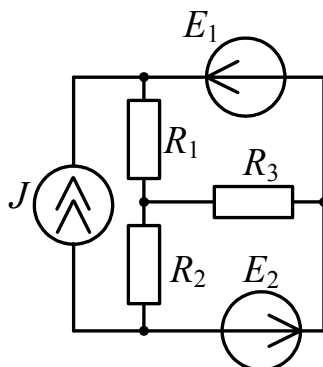
3. Составить уравнение по методу контурных токов для цепи задачи 2.

Билет 25

1. Определить токи в ветвях методом наложения, если $R_1 = R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = R_4 = 4 \text{ Ом}$; $J_1 = 5 \text{ А}$; $J_2 = 10 \text{ А}$.



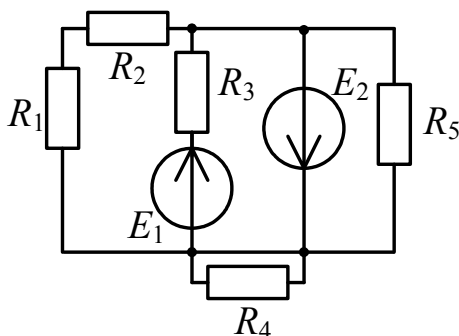
2. Подобрать величину тока источника J , чтобы мощность, выделяемая источником E_1 , была равна нулю, если $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$; $E_1 = 6 \text{ В}$; $E_2 = 3 \text{ В}$.



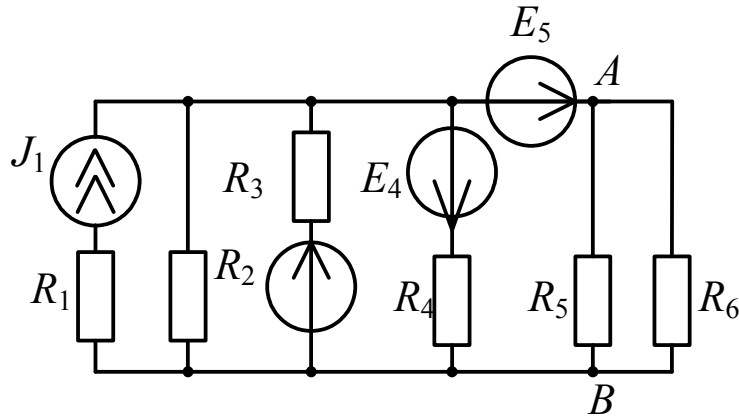
3. Составить уравнение по методу узловых потенциалов для цепи задачи 2.

Билет 26

1. Найти все токи методом наложения, если $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 1 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 5 \text{ Ом}$; $R_5 = 4 \text{ Ом}$; $E_1 = 5 \text{ В}$; $E_2 = 10 \text{ В}$.



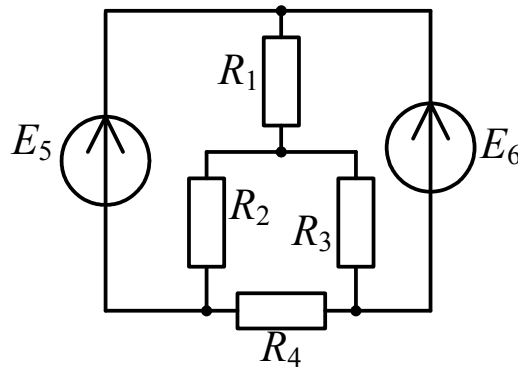
2. Найти токи методом узловых потенциалов. Сделать проверку по законам Кирхгофа, если $R_1 = R_2 = 5 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $R_5 = R_6 = 10 \text{ Ом}$; $E_3 = 5 \text{ А}$; $E_4 = 2 \text{ А}$; $E_5 = 4 \text{ А}$; $J_1 = 1 \text{ А}$.



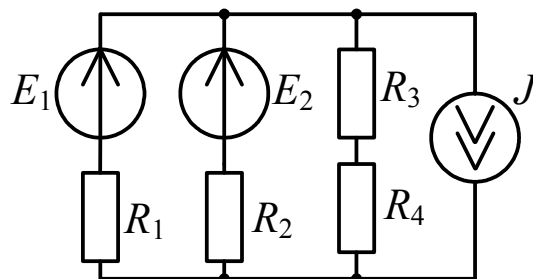
3. Рассчитать параметры эквивалентного генератора относительно зажимов A, B (задача 2).

Билет 27

1. Определить токи наиболее рациональным методом, если $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = R_3 = 4 \text{ Ом}$; $R_4 = 6 \text{ Ом}$; $E_5 = 5 \text{ А}$; $E_6 = 10 \text{ А}$.



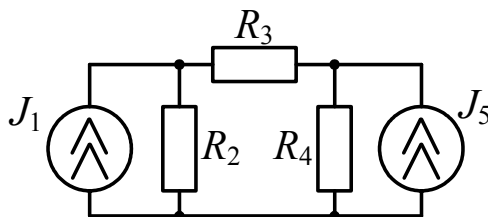
2. Определить токи в цепи по методу узловых потенциалов, если $R_1 = 3 \text{ Ом}$; $R_2 = 2 \text{ Ом}$; $R_3 = 4 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $E_1 = 9 \text{ В}$; $E_2 = 12 \text{ В}$; $J = 3 \text{ А}$.



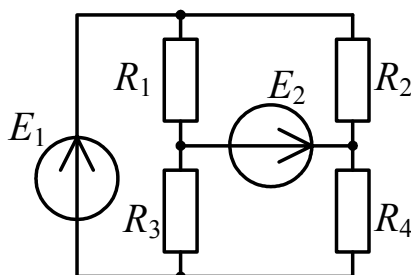
3. Записать систему уравнений по методу контурных токов для цепи задачи 2.

Билет 28

1. Определить ток в третьей ветви R_3 по методу наложения, если $R_2 = 5 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$; $J_1 = 10 \text{ А}$; $J_2 = 5 \text{ А}$.



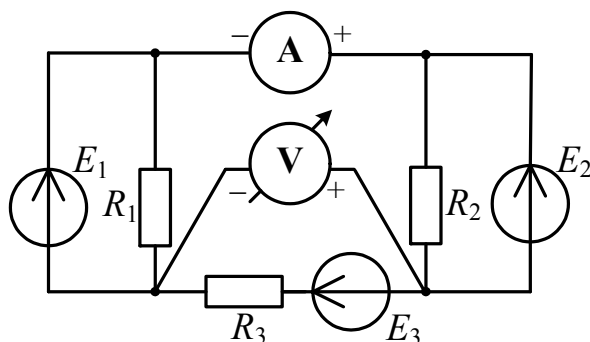
2. Определить токи в цепи наиболее рациональным методом, если $R_1 = 4 \text{ Ом}$; $R_2 = 6 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$; $R_4 = 8 \text{ Ом}$; $E_1 = 16 \text{ В}$; $E_2 = 14,28 \text{ В}$.



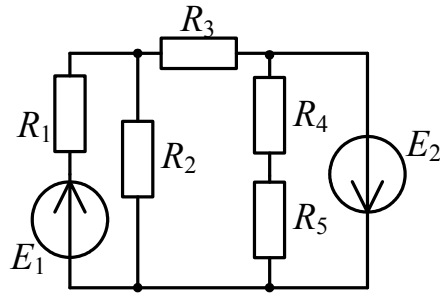
3. Составить уравнение по законам Кирхгофа для проверки расчета цепи задачи.

Билет 29

1. Определить величину и параметры ЭДС E_2 и показания амперметра, если вольтметр показывает 6 В при $R_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = 1 \text{ Ом}$; $R_3 = 3 \text{ Ом}$; $E_1 = 10 \text{ В}$; $E_3 = 6 \text{ В}$.



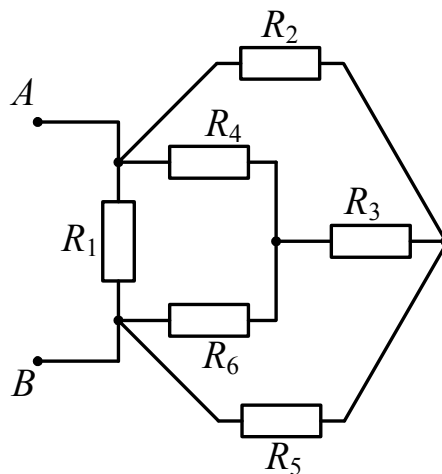
2. Определить токи в цепи по методу узловых потенциалов, если $R_1 = 4 \text{ Ом}$; $R_2 = 8 \text{ Ом}$; $R_3 = 16 \text{ Ом}$; $R_4 = 12 \text{ Ом}$; $R_5 = 8 \text{ Ом}$; $E_1 = 10 \text{ В}$; $E_2 = 12 \text{ В}$.



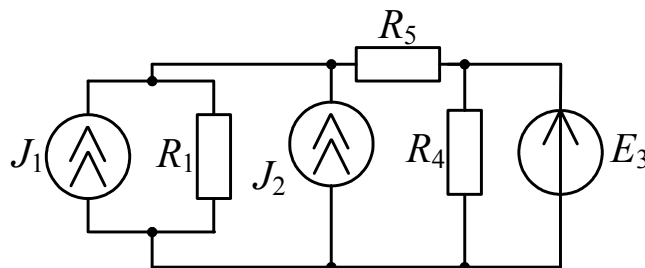
3. Записать систему уравнений по методу контурных токов для цепи задачи 2.

Билет 30

1. Определить величину входного сопротивления цепи относительно зажимов AB , если $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 3 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$; $R_4 = 4 \text{ Ом}$; $R_5 = 6 \text{ Ом}$; $R_6 = 4 \text{ Ом}$.



2. Используя метод уравнений Кирхгофа, определить токи в цепи, если $R_1 = 200 \text{ Ом}$; $R_4 = R_5 = 100 \text{ Ом}$; $E_3 = 50 \text{ В}$; $J_1 = 0,8 \text{ А}$; $J_2 = 0,5 \text{ А}$.



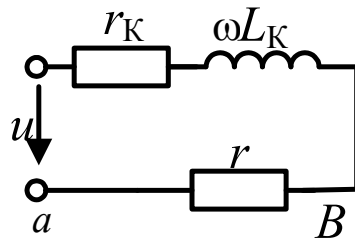
3. Записать уравнение для цепи задачи 2 по методу узловых потенциалов.

Задачи к защите лабораторно-расчетной работы № 5

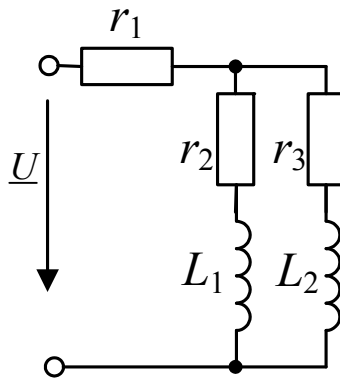
Билет 1

1. Ток в цепи изменяется по закону $i = 10 \sin(314t + 45^\circ)$ А. Записать комплекс мгновенного значения тока.

2. Определить мгновенное значение приложенного напряжения, если $r_K = 3 \text{ Ом}$; $r = 1 \text{ Ом}$; $\omega L_K = 4 \text{ Ом}$; $U_r = 10 \sin \omega t$ В.



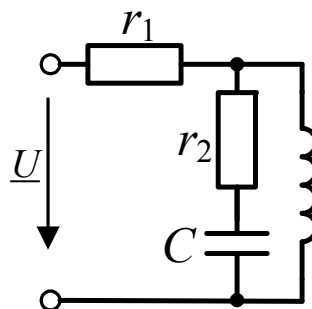
3. Построить качественные диаграммы напряжений и токов электрической цепи.



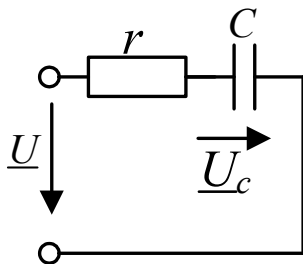
Билет 2

1. Ток в цепи изменяется по закону $i = 5\sqrt{2} \sin(314t + 60^\circ)$ А. Записать комплекс мгновенного значения тока.

2. Построить векторные диаграммы напряжений и токов.



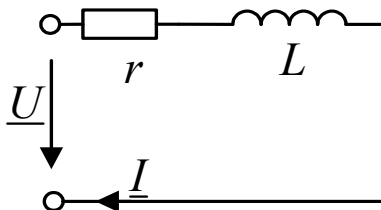
3. Определить напряжение на конденсаторе U_C , если $r = 10$ Ом; $U = 100 \sin 314t$ В; $C = 318$ мкФ.



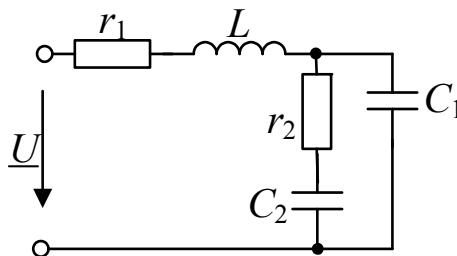
Билет 3

1. Ток в цепи изменяется по закону $i = 6\sqrt{2} \cos(314t + 30^\circ)$ А. Записать комплексную амплитуду тока.

2. Определить выражение для приложенного к цепи напряжения, если $i = 10 \sin 314t$ А; $r = 10$ Ом; $L = 31,8$ мГн.



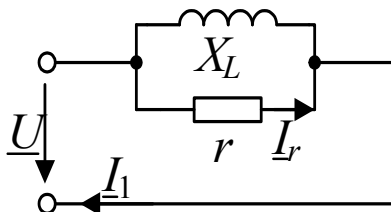
3. Построить качественную векторную диаграмму напряжений и токов.



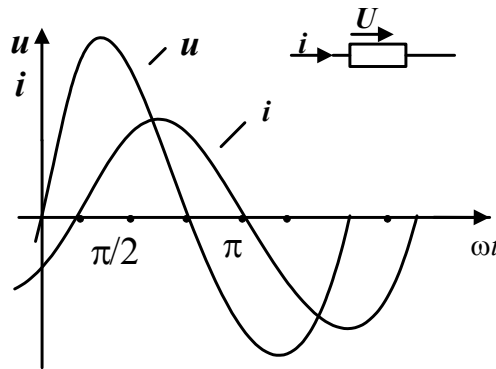
Билет 4

1. Ток в цепи изменяется по закону $i = -4\sqrt{2} \sin(314t + 30^\circ)$ А. Записать действующее значение, комплекс действующего значения тока.

2. Записать выражение мгновенного значения тока в активной ветви, если $r = X_L$; $i_1 = 12\sqrt{2} \sin \omega t$ А.



3. По заданным кривым изменения тока и напряжения определить характер нагрузки Z .

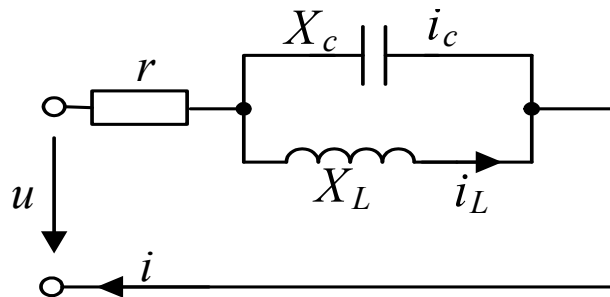


Билет 5

1. Ток в цепи изменяется по закону $i = -12 \sin(314t - 150^\circ)$ А. Записать амплитуду и комплексную амплитуду тока.

2. Известны ток $i = 14,1 \sin(\omega t + 30^\circ)$ А и напряжение $u = 282 \sin(\omega t + 60^\circ)$ В. Определить активную и реактивную мощности цепи.

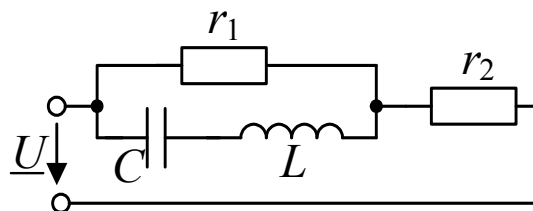
3. Построить качественную векторную диаграмму.



Билет 6

1. Ток в цепи изменяется по закону $i = -3\sqrt{2} \cos(\omega t + 60^\circ)$ А. Записать комплекс мгновенного значения тока.

2. Определить мгновенные значения токов и i_C , а также напряжение U при $r = 2$ Ом; $i_L = 10 \sin(\omega t + 45^\circ)$ А; $X_L = 1$ Ом; $X_C = 2$ Ом.

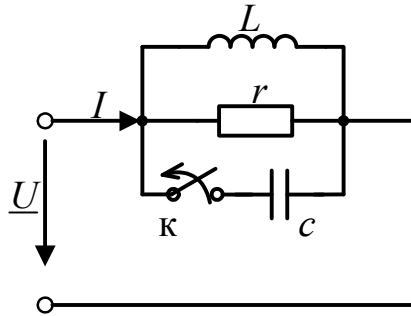


3. Построить векторную диаграмму для схемы задачи 2.

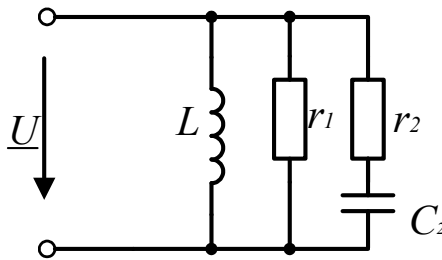
Билет 7

1. Комплекс мгновенного значения тока в цепи $i = 10e^{j(314t-75^\circ)}$ А. Записать мгновенное значение тока.

2. Как изменится действующее значение тока в общей части цепи при размыкании ключа К, если $r = \omega L = 2/\omega C$; U – заданное напряжение.



3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.

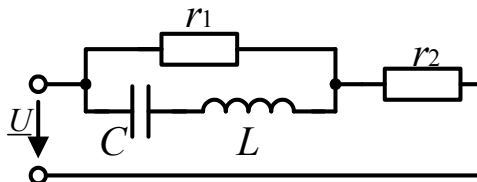


Билет 8

1. Комплекс мгновенного значения тока в цепи с частотой 100 Гц $i = 8e^{j60^\circ}$ А. Записать мгновенное значение тока.

2. Записать комплексное сопротивление цепи, ток и напряжение на входе, которые выражаются функциями: $i = 10\sin(\omega t + 30^\circ)$ А; $u = 100\sin(\omega t + 60^\circ)$ В.

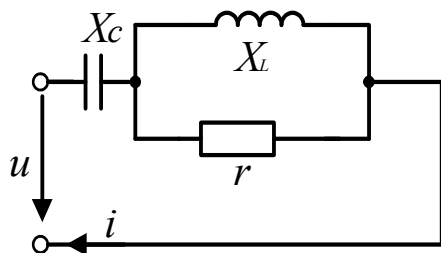
3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.



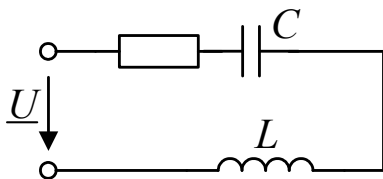
Билет 9

1. Комплекс мгновенного значения тока в цепи с частотой 200 Гц. Записать комплексную амплитуду и мгновенное значение тока.

2. Определить угол сдвига фаз между напряжением и током входе цепи, если $r = 4 \text{ Ом}$; $X_L = 4 \text{ Ом}$; $X_C = 4 \text{ Ом}$. Построить векторную диаграмму.

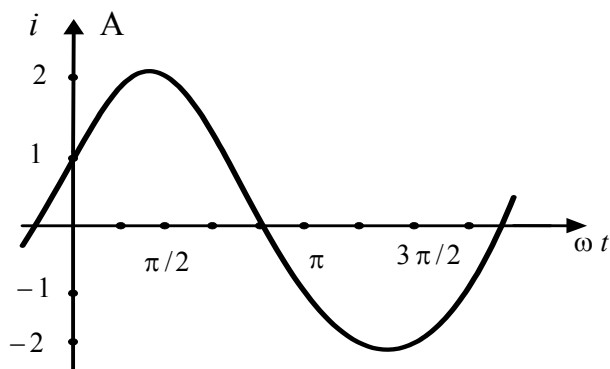


3. Записать полное и комплексное сопротивление данной цепи.

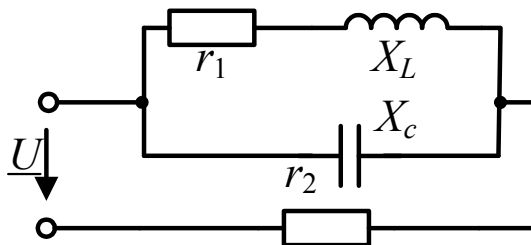


Билет 10

1. Записать комплексную амплитуду тока, изображенного на рисунке.



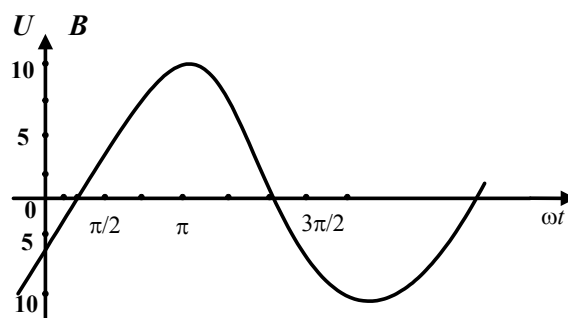
2. Определить эквивалентное активное и реактивное сопротивление цепи, если $r_1 = 5 \text{ Ом}$; $X_L = 5 \text{ Ом}$; $X_C = 5 \text{ Ом}$; $r_2 = 5 \text{ Ом}$.



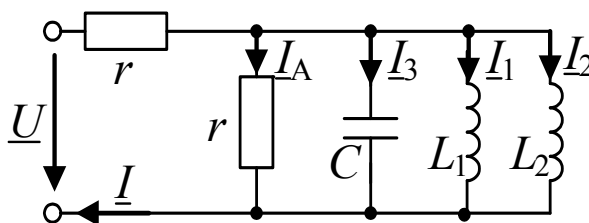
3. Построить качественную векторную диаграмму для цепи задачи 2.

Билет 11

1. Записать комплекс мгновенного значения напряжения, представленного на рисунке.



2. Определить ток I в общей части цепи, если $I_1 = 8$ А; $I_2 = 6$ А; $I_3 = 10$ А, $I_4 = 3$ А.

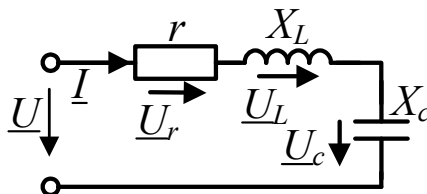


3. Построить качественную векторную диаграмму для цепи задачи 2.

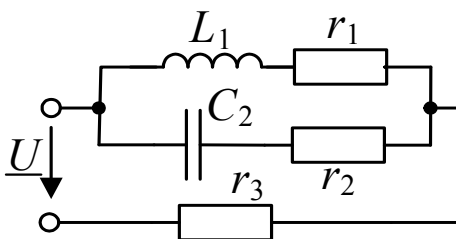
Билет 12

1. Нарисовать кривую мгновенного значения напряжения, если комплекс его действующего значения $U = 5\sqrt{2}e^{-j45^\circ}$ В, а частота сети – 150 Гц.

2. Построить графики мгновенных значений токов и напряжений цепи для случая, когда $r > X_L > X_C$.



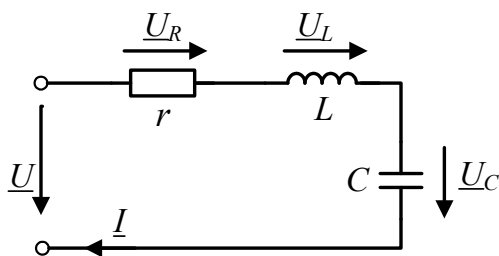
3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.



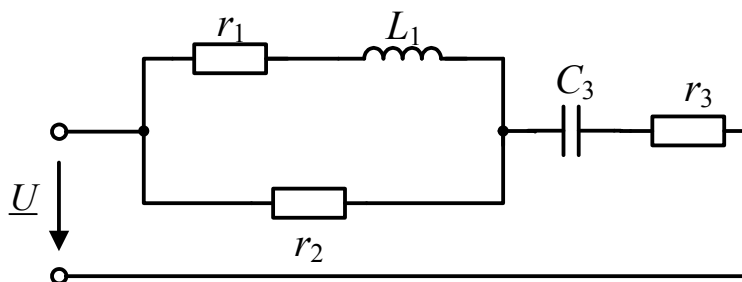
Билет 13

1. Нарисовать кривую мгновенного значения тока в цепи с частотой 50 Гц, если комплекс действующего значения тока $i = 4\sqrt{2}e^{-j150^\circ}$ А.

2. Записать комплексы действующих значений напряжений тока цепи, если $U_C = 100e^{j30^\circ}$ В; $r = 16$ Ом; $\omega L = 20$ Ом; $1/\omega C = 8$ Ом.



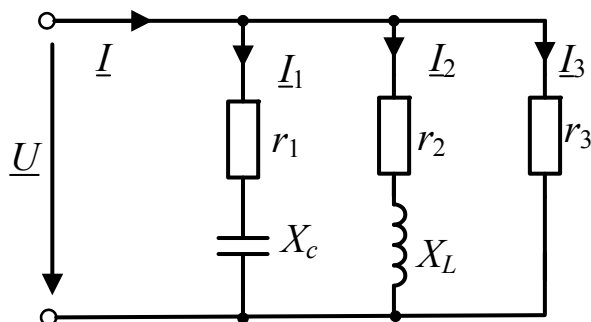
3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.



Билет 14

1. Записать комплекс действующего значения напряжения на конденсаторе, если ток в нем изменяется по закону $i = 3\sqrt{2} \sin(314t + 30^\circ)$ А, а емкость конденсатора – 319 мкФ.

2. Найти комплексы действующих значений токов ветвей и напряжений на всех элементах цепи при $U = 100$ В; $r_1 = 4$ Ом; $r_2 = 6$ Ом; $X_L = 8$ Ом; $X_C = 3$ Ом; $r_3 = 10$ Ом.

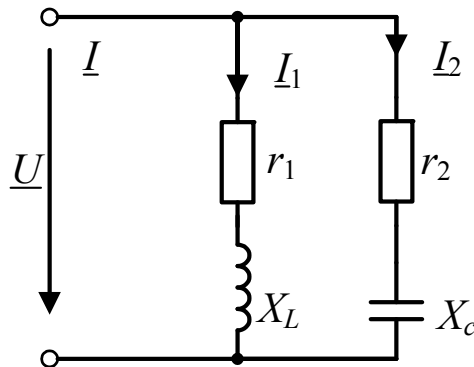


3. Построить качественную векторную диаграмму для цепи задачи 2.

Билет 15

1. Записать комплекс действующего значения напряжения на катушке индуктивности с $i = 51$ мГн, если ток в обмотке катушки изменяется по закону $i = 10\sqrt{2} \sin(314t - 30^\circ)$ А.

2. Найти активную и реактивную проводимости цепи при $r_1 = 6$ Ом; $X_L = 8$ Ом; $X_C = 12$ Ом; $r_2 = 16$ Ом.

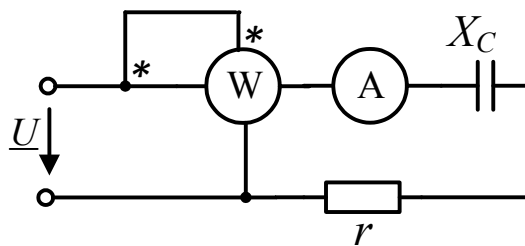


3. Построить качественную векторную диаграмму для цепи задачи 2.

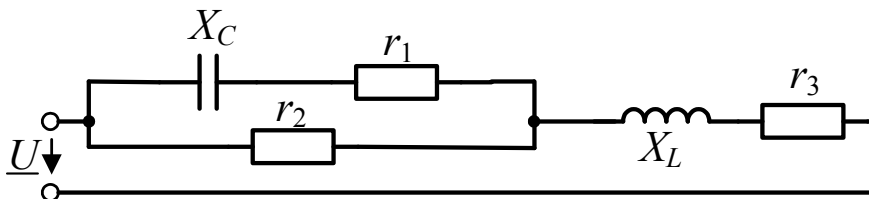
Билет 16

1. Комплекс мгновенного значения напряжения на конденсаторе $U_c = 100e^{j60^\circ}$ В. Записать комплексную амплитуду тока в конденсаторе, если $X_C = 25$ Ом.

2. Определить величину сопротивления X_C , если $U = 200$ В, а ваттметр показывает 640 Вт, амперметр – 4 А.



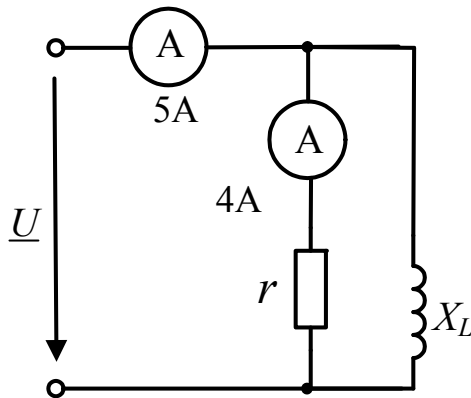
3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.



Билет 17

1. Комплекс мгновенного значения тока и индуктивности L
 $i_L = 10\sin(314t + 25^\circ)$ А. Записать мгновенное значение напряжения u_L , $L = 25,5$ мГн.

2. Определить сопротивление X_L , если $r = 3$ Ом, а показания амперметров указаны на схеме.

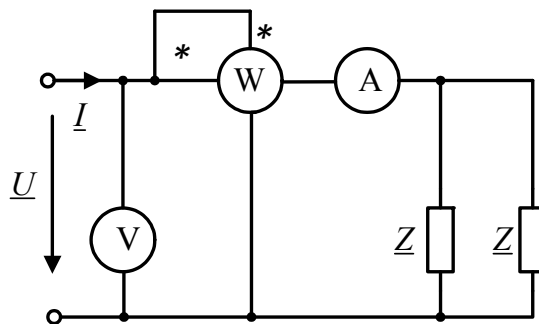


3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.

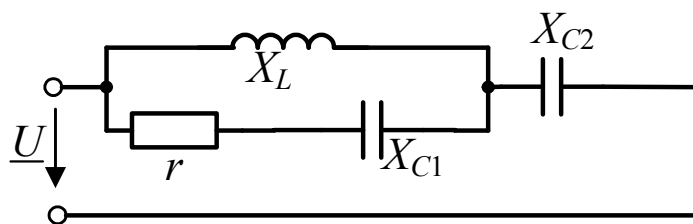
Билет 18

1. Мгновенное значение напряжения на активном сопротивлении $r = 5$ Ом равно $u_r = 14,1\sin(314t - 90^\circ)$ В. Записать комплекс действующего значения i_r .

2. Определить показания ваттметра, если $U = 200$ В; $I = 20$ А; $Z = r + jx$; $r = 0,5Z$.



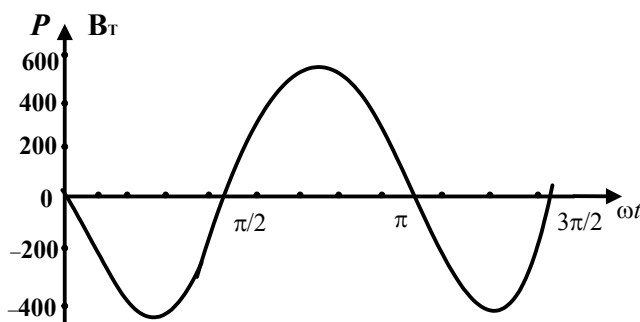
3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.



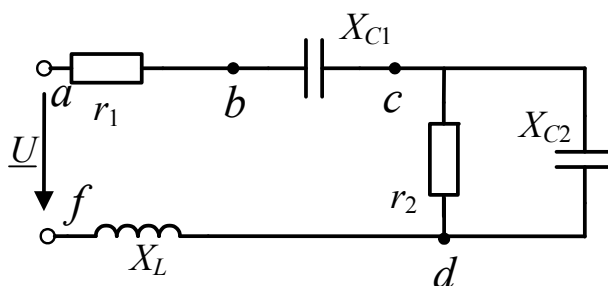
Билет 19

1. Напряжение на катушке индуктивности $u_L = 100 \sin(314t + 90^\circ)$. Записать комплекс действующего значения напряжения на последовательно с ней соединенном конденсаторе, если $X_C = 10$ Ом, а $X_C = 20$ Ом.

2. На рисунке представлена кривая изменения мгновенной мощности потребителя. Найти $\cos \varphi$ нагрузки.



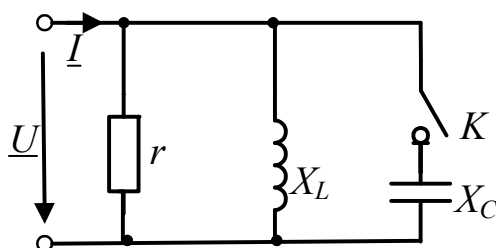
3. Построить качественную топографическую диаграмму напряжений.



Билет 20

1. Напряжение на катушке индуктивности $u_L = 60\sqrt{2} \sin(314t + 30^\circ)$ В. Записать комплекс мгновенного значения тока в катушке, если $X_L = 20$ Ом.

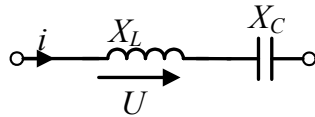
2. Как изменится действующее значение тока заданной цепи после замыкания ключа, если $r = X_L = 2X_C$?



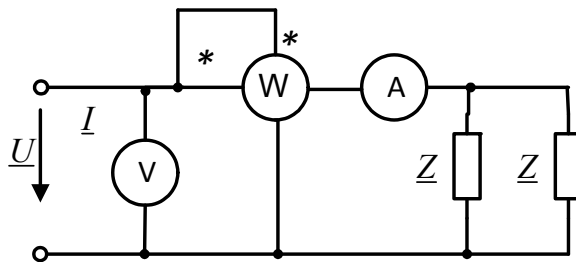
3. Построить векторную диаграмму для цепи задачи 2 при замкнутом и разомкнутом ключе К.

Билет 21

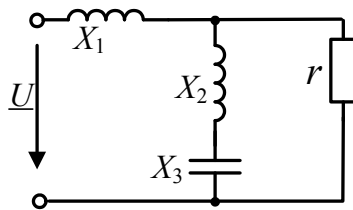
1. Записать мгновенное значение тока, если $X_L = 2X_C = 20$ Ом; $X_C = 20$ Ом; $U = 100$ В и $f = 50$ Гц.



2. Показатели амперметра и вольтметра соответственно равны: $I = 20$ А; $U = 200$ В. Определить показания ваттметра, если $Z = r + jx$ и $x = \sqrt{3}r$.

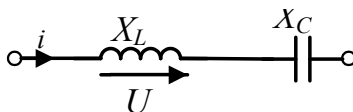


3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.

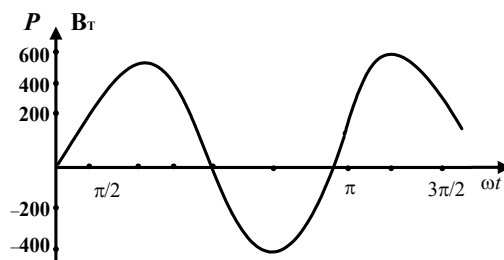


Билет 22

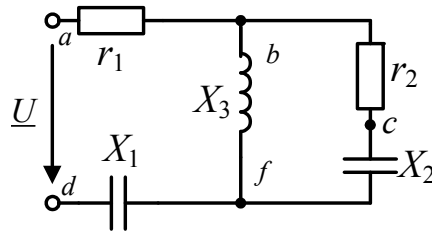
1. Записать мгновенное значение напряжения u , если $X_L = 2$ Ом; $X_C = 10$ Ом; $I = 10$ А; $f = 50$ Гц.



2. На рисунке показана кривая изменения мгновенной мощности на входе цепи. Определить угол сдвига фаз между током и напряжением на входе цепи.

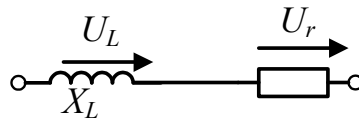


3. Построить качественную топографическую диаграмму напряжений цепи.



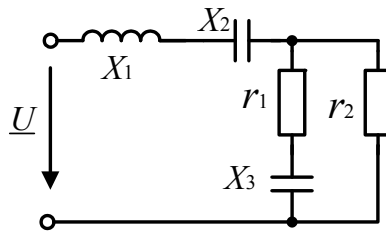
Билет 23

1. Записать U_m , если $U_r = 100 \sin(314t - 45^\circ)$ В; $X_L = r = 10$ Ом.



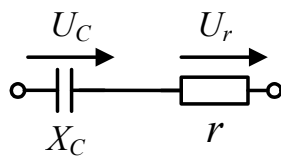
2. Определить мгновенное значение напряжения u_{ab} , тока i , если $u = 10 \sin \omega t$; $r = x$.

3. Построить качественную векторную диаграмму цепи.



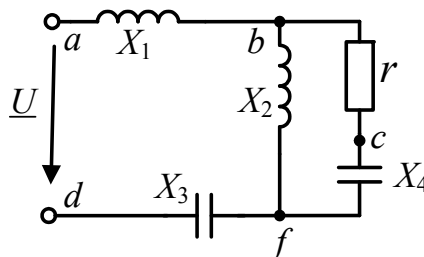
Билет 24

1. Записать U_r , если $U_C = 120 \sin \omega t$; $X_C = r = 10$ Ом.



2. Определить действующее значение тока в общей части цепи I , если $I_1 = 10$ А; $I_2 = 3$ А; $I_3 = 6$ А; $I_4 = 15$ А.

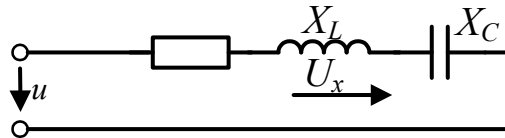
3. Построить качественную топографическую диаграмму напряжений цепи.



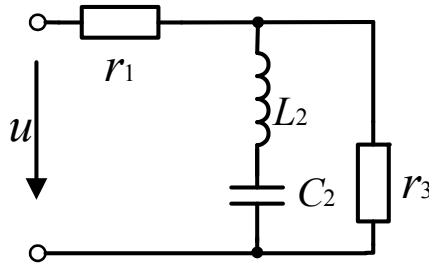
Билет 25

1. Ток и напряжение на участке цепи изменяется: $i = 10\sin(\omega t - 30^\circ)$ А; $u = 100\sin \omega t$ В. Найти полную активную и реактивную мощности.

2. Найти мгновенное значение u , если $U_x = 40\sin \omega t$; $r = 3$ Ом; $X_L = 6$ Ом; $X_C = 2$ Ом.



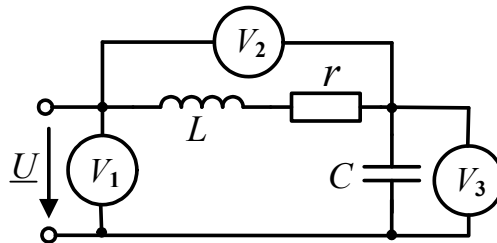
3. Построить векторные диаграммы токов и напряжений электрической цепи.



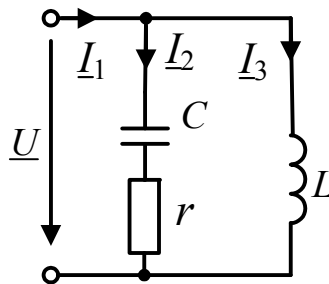
Задачи к защите лабораторно-расчетных работ № 7, 8

Билет 1

1. Какое напряжение покажет вольтметр V_3 в режиме резонанса, если V_1 показывает 30 В, а V_2 – 50 В?



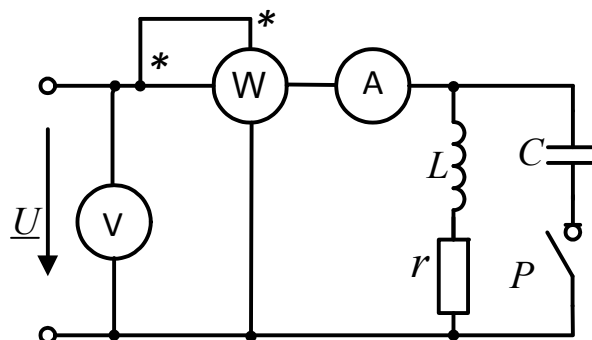
2. Для данной цепи записать через величины r , L , C , ω условие резонанса. Построить качественно векторные диаграммы напряжений и токов в режиме резонанса.



Билет 2

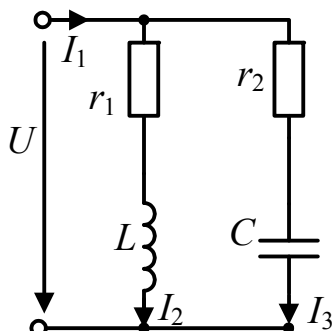
1. Для данной цепи записать через величины r , L , C , ω условие резонанса. Построить качественно векторные диаграммы напряжений и токов в режиме резонанса.

2. Известны показания приборов: $P = 40$ Вт; $U = 50$ В; $I = 1$ А; $\omega = 1000$ 1/с. Определить, какую емкость необходимо включить, чтобы в цепи был резонанс.

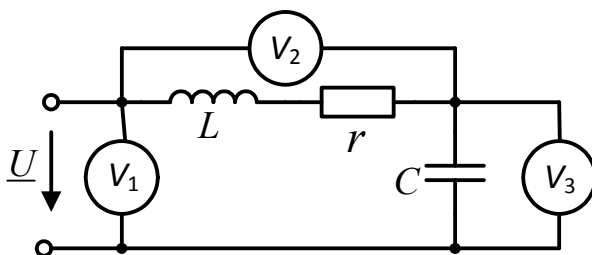


Билет 3

1. Для данной цепи записать через величины r , L , C , ω условие резонанса. Построить качественно векторные диаграммы напряжений и токов в режиме резонанса.

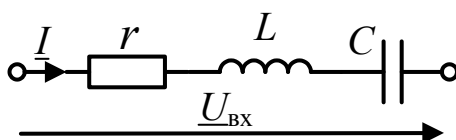


2. Какое напряжение покажет вольтметру V_1 , в режиме резонанса, если V_2 показывает 100 В; $V_3 = 80$ В?

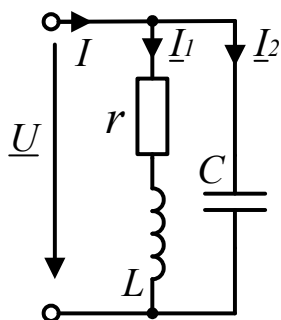


Билет 4

1. Для цепи построить качественные зависимости $I = f_1(L)$; $U_L = f_2(L)$; $U_C = f_3(L)$; $U_{\text{ВХ}}(L) = \text{const}$.

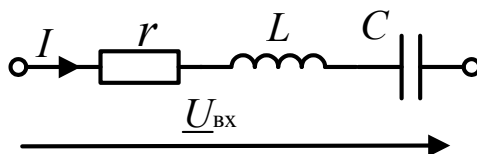


2. Найти U , I_1 , I_2 , если $r = \omega L = 5$ Ом; $I = 10$ А, а в цепи имеет место резонанс. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для резонанса.



Билет 5

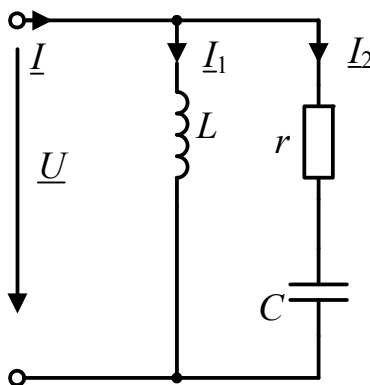
1. Для цепи построить качественные зависимости $I = f_1(C)$; $U_C = f_2(C)$; $U_L = f_3(C)$; $U_{ВХ} = \text{const}$; $0 \leq C \leq \infty$.



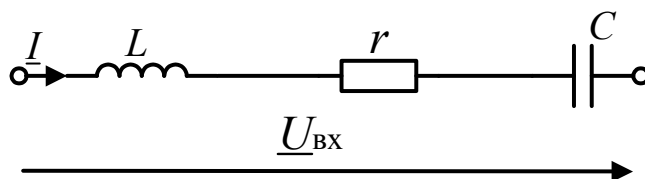
2. Можно ли в цепи (см. рисунок) получить резонанс, изменяя величину активного сопротивления r , если $I_2 = 10 \text{ А}$; $I_1|_{r=0} = 20 \text{ А}$; $U = 200 \text{ В}$. Определить r при резонансе.

Билет 6

1. Найти величину r , если $U = 10 \text{ В}$; $I = 3 \text{ А}$; $I_1 = 4 \text{ А}$, а в цепи резонанс. Построить для этого случая векторные диаграммы напряжений и токов.

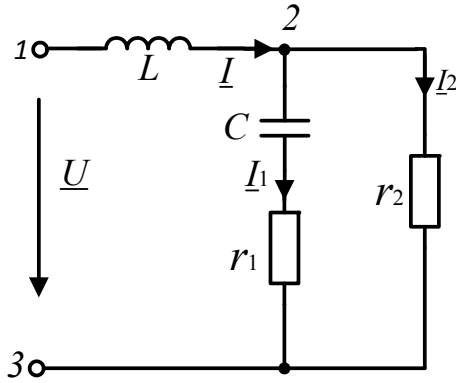


2. Для цепи построить качественные зависимости $I = f_1(C)$; $P = f_2(C)$; ($U_{ВХ} = \text{const}$).

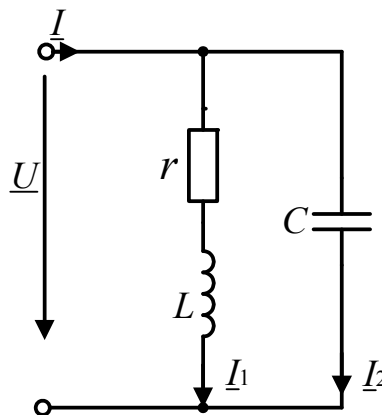


Билет 7

1. Для цепи построить векторные диаграммы напряжений и токов. В цепи имеет место резонанс.

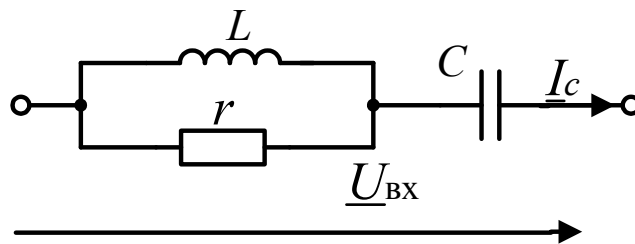


2. Дано: $I_1 = \sqrt{2}$ А; $I_2 = 1$ А; $r = 1$ Ом. В цепи – резонанс. Определить: I , U_C , r .

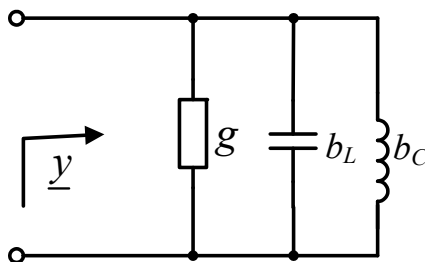


Билет 8

1. Какой должна быть емкость C , чтобы в цепи был резонанс, если $U_{\text{ВХ}} = 100$ В; $U_r = 141$ В; $I_C = 10$ А; $\omega = 1000$ рад/с?

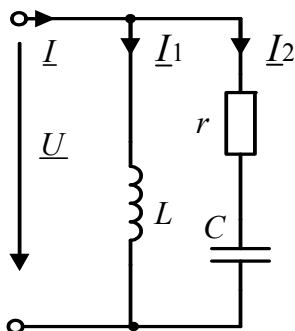


2. Построить зависимости $b_L(\omega)$; $b_C(\omega)$; $g(\omega)$; $y(\omega)$ при изменении частоты ω от нуля до ∞ .

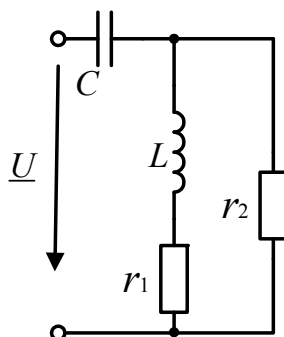


Билет 9

1. Дано: $I = 3$ А; $U = 10$ В; $I_2 = 4$ А. В цепи – резонанс. Определить r .

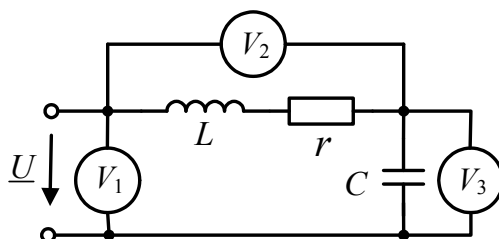


2. Построить качественные векторные диаграммы напряжений и токов для случая резонанса.

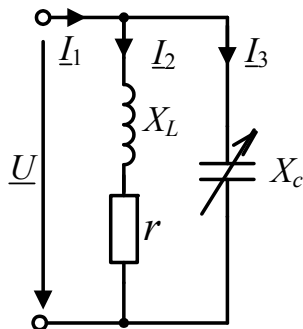


Билет 10

1. Какое напряжение покажет вольтметр V_2 в режиме резонанса в данной цепи, если V_1 показывает 40 В; $V_3 = 30$ В?



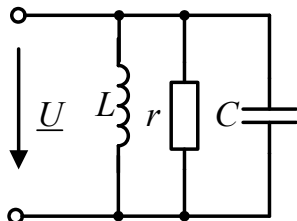
2. Построить зависимости I , I_1 , I_2 в функции величины емкости C , если $U = \text{const}$.



Билет 11

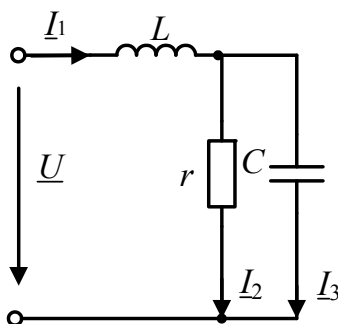
1. В цепи с напряжением 240 В включены последовательно r , L , C . При частоте 50 Гц сопротивления $X_L = 2$ Ом; $X_C = 50$ Ом; $r = 10$ Ом. Определить I , U_L , U_r , U_C при резонансе. Определить резонансную частоту.

2. Построить $r = f(\omega)$; $\cos \varphi = f(\omega)$ при $U = \text{const}$ и изменения частоты ω от нуля до ∞ .

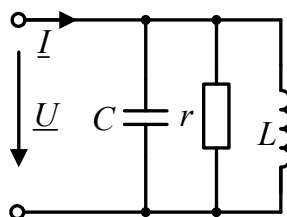


Билет 12

1. В цепи резонанс: $r = 1/\omega C = 2$ Ом; $I_3 = 5$ А. Определить U , I_1 , P .

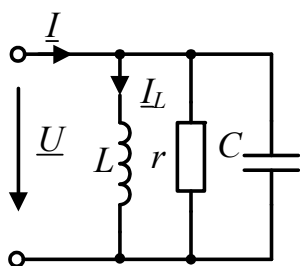


2. Построить зависимости $I = f(C)$; $\cos \psi = f_2(C)$ при $U = \text{const}$.

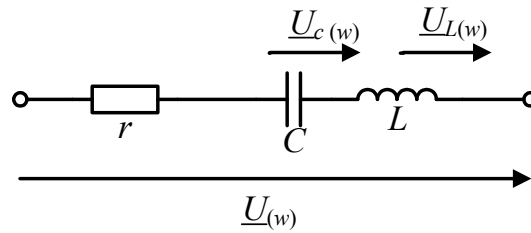


Билет 13

1. Дано: $I = 2$ А; $I_L = 5$ А; $1/\omega C = 2$ Ом. Определить P , если в цепи – резонанс.

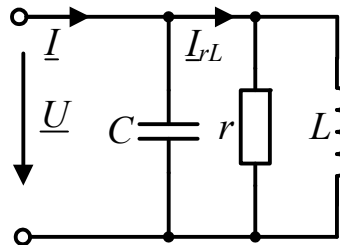


2. Построить зависимости $U(\omega)$; $U_C(\omega)$; $U_L(\omega)$, если $I(\omega) = \text{const}$, ω изменяется от нуля до ∞ .

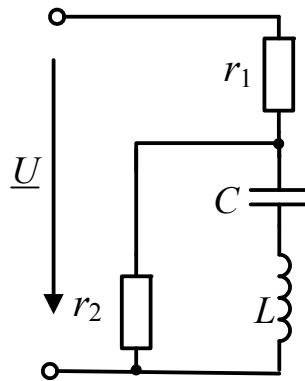


Билет 14

1. Дано: $I = 4$ А; $I_{rL} = 5$ А; $U = 10$ В. В цепи – резонанс. Определить: P , X_C , X_L , r .

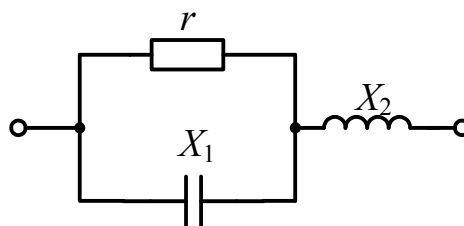


2. Записать условие резонанса в цепи (см. рисунок). Построить для резонанса векторные диаграммы токов и напряжений.

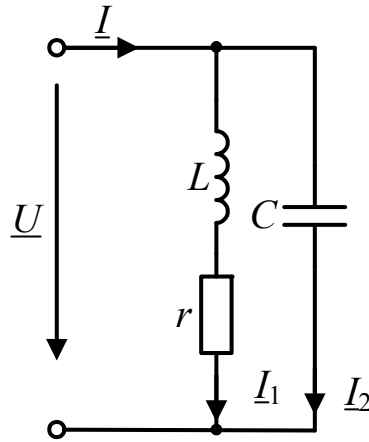


Билет 15

1. При каком значении сопротивления x_2 в цепи наступит резонанс напряжений, если $r = 10$ Ом; $X_1 = 10$ Ом. Построить для резонанса векторные диаграммы токов и напряжений.

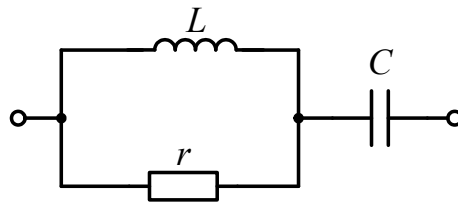


2. Для цепи построить зависимости $I_2 = f_1(C)$; $I = f(C)$ при $U = \text{const}$ и $0 \leq C \leq \infty$.

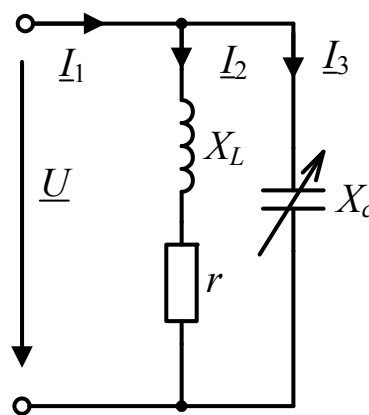


Билет 16

1. Какой должна быть величина r , чтобы в цепи был резонанс? Построить для резонанса векторные диаграммы напряжений и токов $X_L = 20$ Ом; $X_C = 10$ Ом.

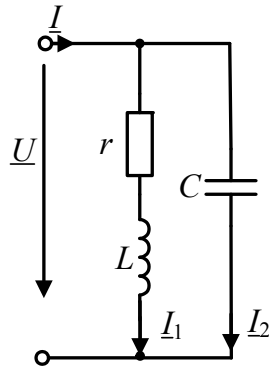


2. Построить зависимости $I_3 = f_3(C)$; $I_1 = f_1(C)$; $I_2 = f_2(C)$ при $U = \text{const}$ и $0 \leq C \leq \infty$.

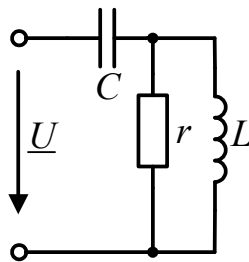


Билет 17

1. Построить зависимости $I_2 = f_1(C)$; $I_1 = f_2(C)$; $I = f_3(C)$ при $U(C) = \text{const}$ и $0 \leq C \leq \infty$.

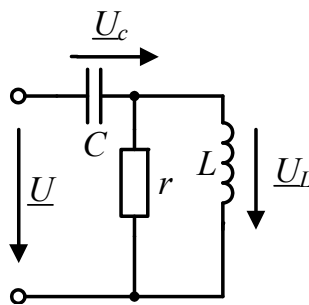


2. Цепь находится в режиме резонанса, при этом известны $Z(\omega_0)$ и r . Определить X_L и X_C . Построить векторные диаграммы напряжений и токов $r = 20$ Ом; $Z(\omega_0) = 0,5$ Ом; ω_0 – резонансная частота.

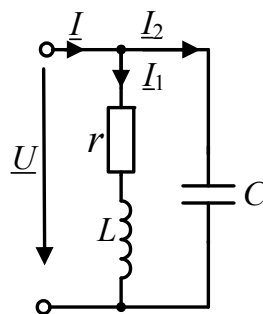


Билет 18

1. Напряжение $U_L = 10$ В; величины $r = X_L = 10$ Ом. Найти величину X_C , при которой в цепи будет резонанс. Чему при этом равно напряжение U_C ?

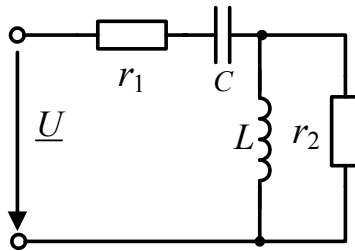


2. Построить зависимости $I_1 = f_2(\omega)$; $I_2 = f_3(\omega)$ $I = f_1(\omega)$ при $U_C = \text{const}$ и $0 \leq \omega \leq \infty$.

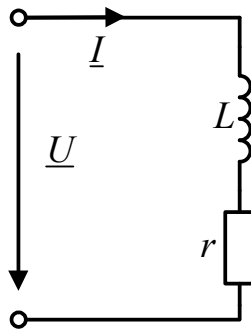


Билет 19

1. Записать условие резонанса. Построить для случая резонанса векторные диаграммы напряжений и токов.

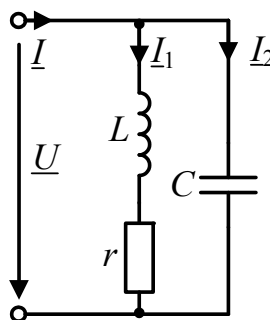


2. Для цепи (см. рисунок) известно: $U = 110\sqrt{2}$ В; $P = 1210$ Вт. Определить емкость батареи конденсатора, которую нужно включить параллельно ветви с r , L , чтобы $\cos \varphi$ цепи стал равен 1.

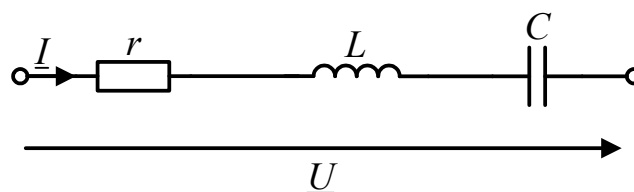


Билет 20

1. В цепи (см. рисунок) – резонанс. Известно: $U = 30$ В; $\omega = 5 \cdot 10^3$ с⁻¹; $I_1 = 375$ мА; $I = 225$ мА. Найти емкость конденсатора.

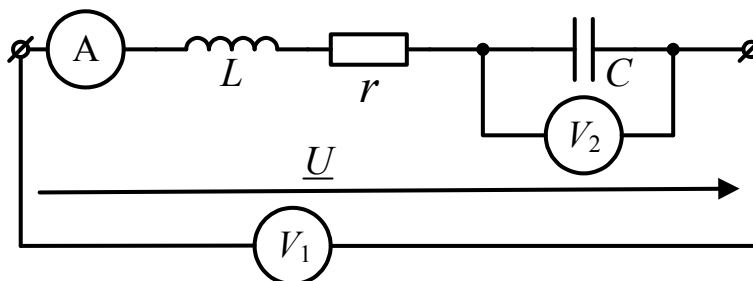


2. Для цепи (см. рисунок) построить зависимости $\cos \varphi = f_1(C)$; $I = f_2(C)$ при $U = \text{const}$ и $0 \leq C \leq \infty$.

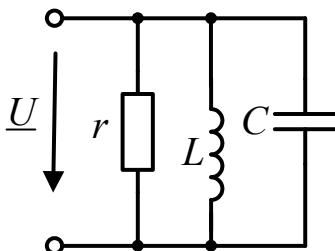


Билет 21

1. При изменении емкости максимальное показание амперметра – 10 А, при этом вольтметры V_1 и V_2 показывают 100 В. Определить r и X_C .



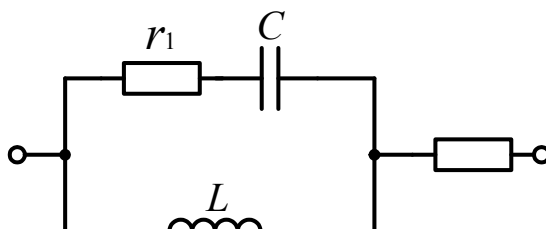
2. Построить зависимости $P = f_1(\omega)$; $\cos \varphi = f_2(\omega)$ при $U = \text{const}$ и $0 \leq \omega \leq \infty$.



Билет 22

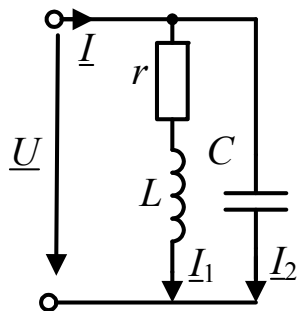
1. В цепи с напряжением 100 В включены последовательно r, L, C . При частоте 50 Гц сопротивления $X_L = 2$ Ом; $X_C = 50$ Ом; $r = 10$ Ом. Определить ток в цепи и напряжения на ее участках при резонансной частоте.

2. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для цепи (см. рисунок). В цепи имеет место резонанс.



Билет 23

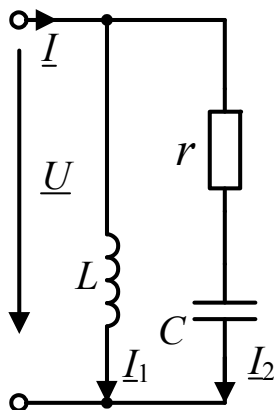
1. Найти U, I_1, I_2 , если $r = \omega L = 5$ Ом; $I = 10$ А. В цепи имеет место резонанс. Построить векторную диаграмму для резонанса.



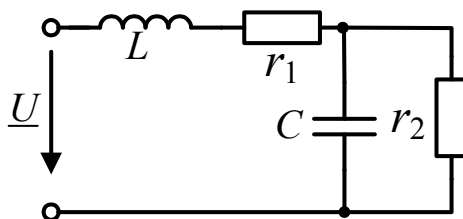
2. Для последовательно соединенных элементов r , L , C построить качественные зависимости $I = f(\omega)$; $U_L = f(\omega)$; $U_C = f(\omega)$; $U_r = f(\omega)$ при $U_{\text{ВХ}} = \text{const}$; $0 \leq C \leq \infty$.

Билет 24

1. В цепи – резонанс. Найти величину r , если $U = 10$ В; $I = 3$ А; $I_1 = 4$ А. Построить векторную диаграмму.

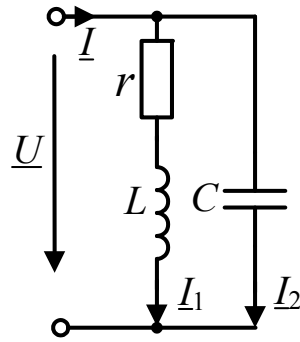


2. Построить качественные векторные диаграммы напряжений и токов при резонансе.



Билет 25

1. Дано: $I_1 = 4$ А; $I_2 = 2$ А; $r = 4$ Ом. В цепи резонанс. Определить I , U_C , P и построить векторную диаграмму.

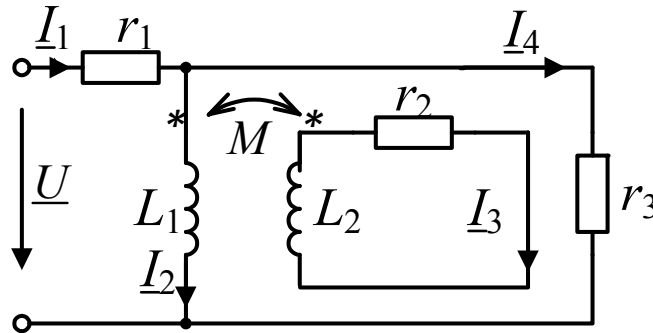


2. Для той же схемы построить зависимости $I(\omega)$, $I_1(\omega)$, $I_2(\omega)$ при изменении ω от нуля до бесконечности и $U(\omega) = \text{const}$.

Задачи к защите лабораторно-расчетной работы № 9

Билет 1

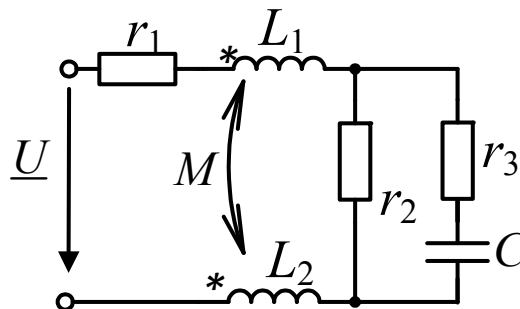
1. Построить качественную векторную диаграмму.



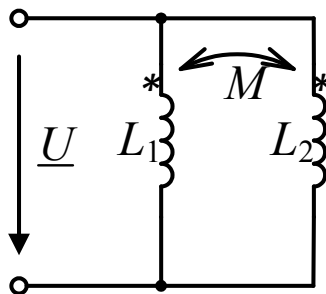
2. Как опытным путем определить одноименные зажимы, если имеются источник питания ЭДС и приборы постоянного тока.

Билет 2

1. Построить качественную векторную диаграмму для схемы.

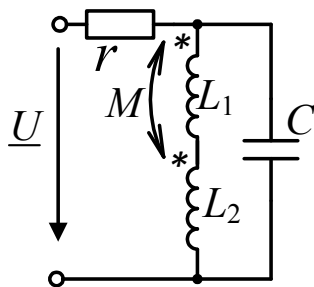


2. Данную схему заменить эквивалентной без индуктивных связей и доказать правомерность такой замены по законам Кирхгофа. Определить $Z_{\text{ВХ}}$ цепи при $X_{L1} = 15 \text{ Ом}$; $X_{L2} = 20 \text{ Ом}$; $X_M = 5 \text{ Ом}$.

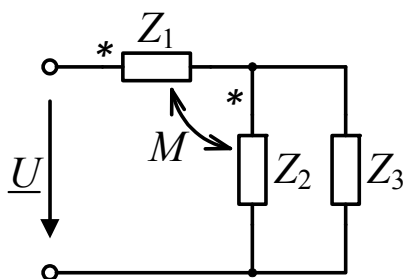


Билет 3

1. Построить качественную векторную диаграмму.

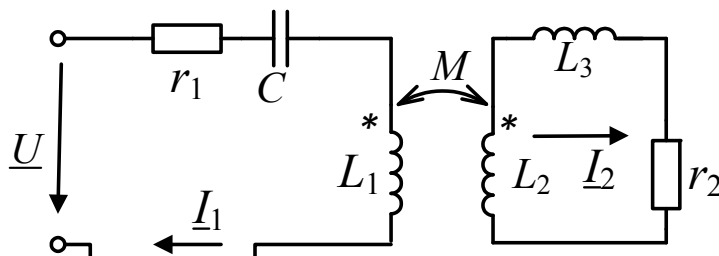


2. Данную схему заменить эквивалентной без индуктивных связей и доказать правомерность такой замены по законам Кирхгофа. Определить $Z_{ВХ}$ цепи при $Z_1 = j2$ Ом; $Z_2 = j4$ Ом; $Z_3 = -j5$ Ом; $Z_4 = j1$ Ом.

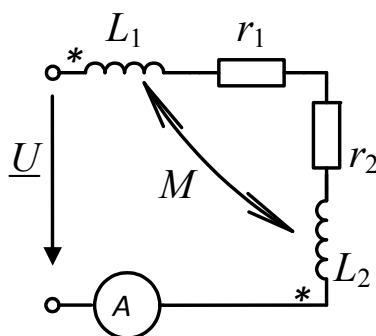


Билет 4

1. Построить качественную векторную диаграмму.

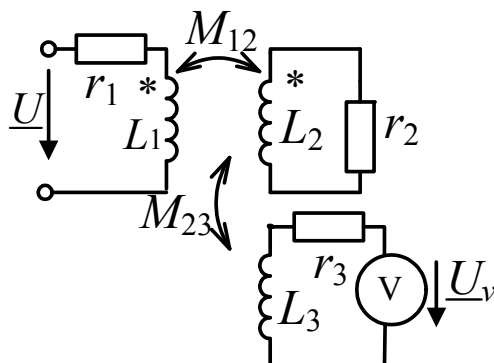


2. Во сколько раз изменится показание амперметра, если на вход вместо синусоидального подать напряжение постоянного тока с таким же действующим значением $X_M = 0,5$ Ом; $r_1 = 3$ Ом; $X_1 = 3$ Ом.

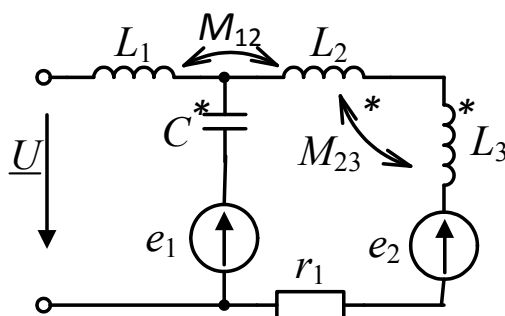


Билет 5

1. Построить качественную векторную диаграмму. Показать на диаграмме вектор $U_V (r_V \rightarrow \infty)$.

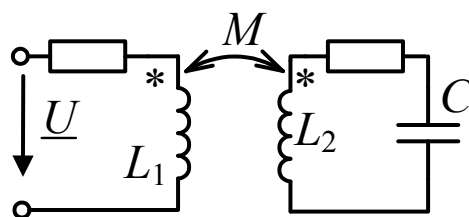


2. Составить уравнение по методу контурных токов. Определить ток в L_1 , если $U(t) = 300\sin\omega t$; $e_1 = 100\sin(\omega t - 90^\circ)$; $e_2 = 100\sin(\omega t + 90^\circ)$; $X_{L1} = X_{L2} = X_{L3} = 10 \text{ Ом}$; $X_C = 20 \text{ Ом}$; $r_1 = 5 \text{ Ом}$; $X_{M12} = X_{M23} = 5 \text{ Ом}$.

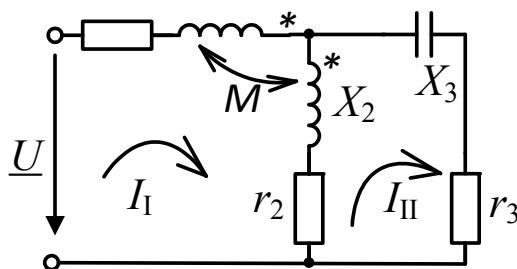


Билет 6

1. Построить качественную векторную диаграмму.

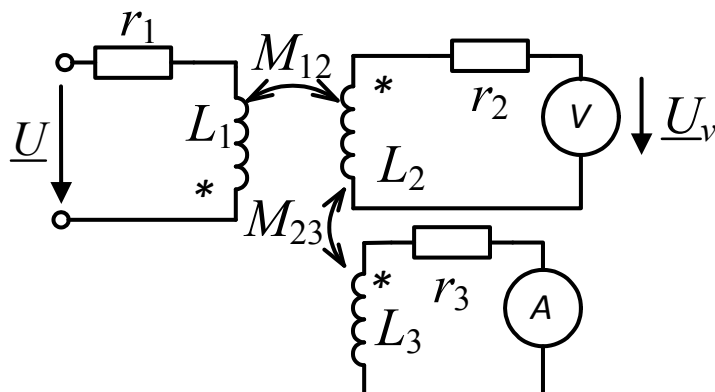


2. Составить уравнение по методу контурных токов. Определить численно коэффициенты уравнений.

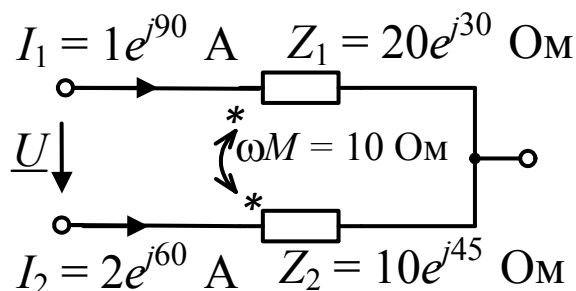


Билет 7

1. Построить качественную векторную диаграмму. Показать вектор U_V . Определить показание амперметра ($r_V \rightarrow \infty$; $r_A = 0$).

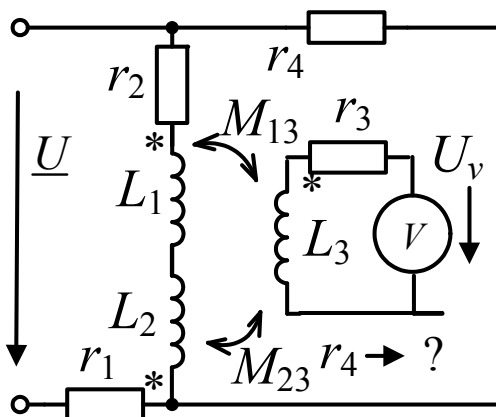


2. Определить активную мощность, передаваемую из первой ветви во вторую за счет взаимной индукции.

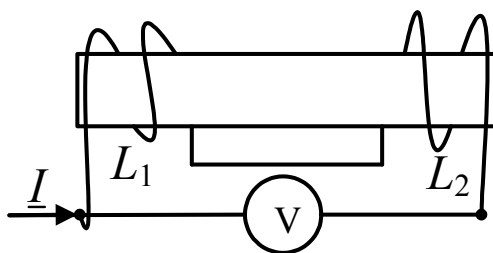


Билет 8

1. Построить качественную векторную диаграмму. Определить и показать на диаграмме напряжение U_V ($M_2 > M_1$).

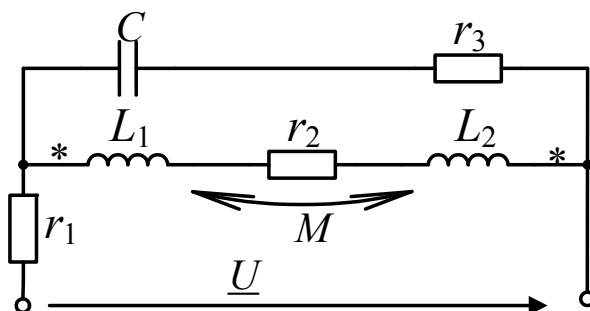


2. По катушкам, намотанным на сердечник, протекает синусоидальный ток, если $I = 5\text{ A}$; $L_1 = L_2 = 4\text{ Гн}$; $K_{CB} = 0,5$; $r_1 = r_2 = 0$; $\omega = 1/\text{с}$. Определить показание вольтметра.



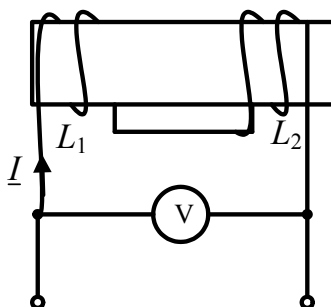
Билет 9

1. Построить качественно векторную диаграмму ($L_1 > M > L_2$).



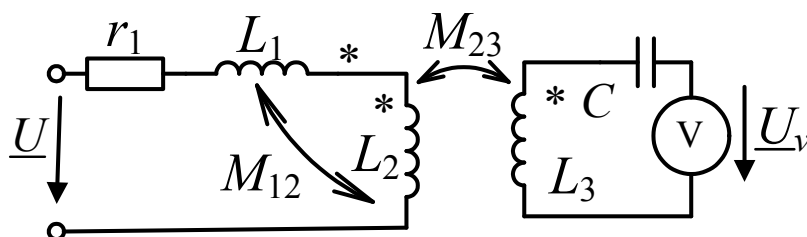
2. По двум катушкам, намотанным на сердечник, протекает ток, если $I = 5 \text{ A}$; $L_1 = L_2 = 4 \text{ Гн}$; $K = 0,5$; $r_1 = r_2 = 0$; $\omega = 1 \text{ 1/с}$.

Определить показание вольтметра.

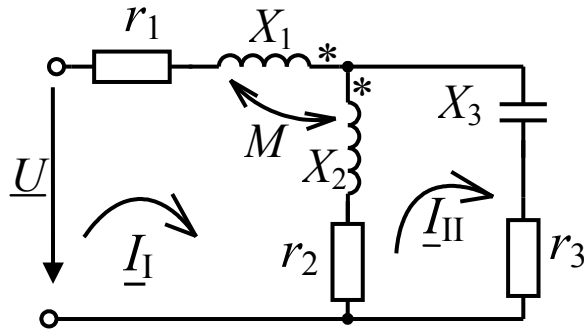


Билет 10

1. Построить качественную векторную диаграмму. Показать на диаграмме и определить численно величину U_V , $U = 200 \text{ В}$; $r_1 = X_{L1} = X_{L2} = 20 \text{ Ом}$; $X_{M1} = X_{M2} = 10 \text{ Ом}$; ($r_V \rightarrow \infty$).

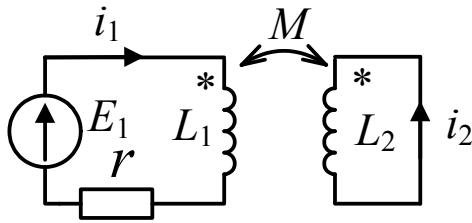


2. Составить уравнения по методу контурных токов.

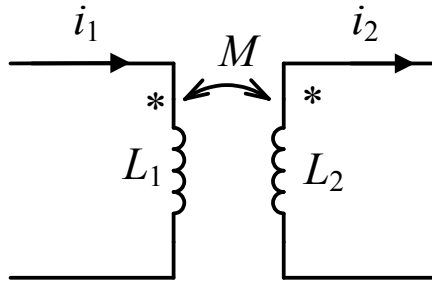


Билет 11

1. Построить качественную векторную диаграмму токов и напряжений. Записать уравнения по законам Кирхгофа.

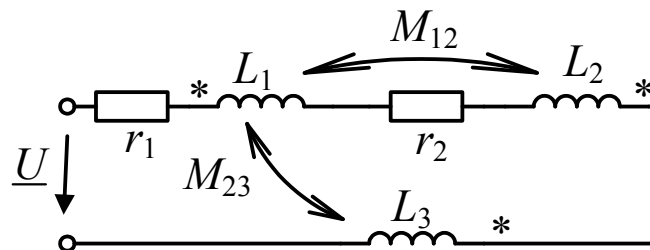


2. Определить реактивную мощность, передаваемому путем взаимной индуктивности из второй ветви в первую, если известны: $M = 0,5 \text{ Г}$; $L_1 = L_2 = 1 \text{ Гн}$; $\omega = 100 \text{ рад/с}$; $i_1(t) = 1 \sin(\omega t + 30^\circ), \text{ А}$; $i_2(t) = 2 \sin(\omega t + 90^\circ), \text{ А}$.

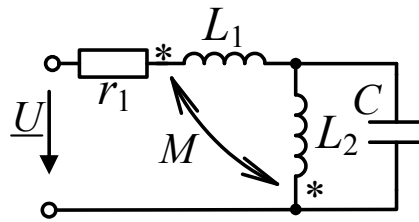


Билет 12

1. Записать уравнение по второму закону Кирхгофа. Построить качественную векторную диаграмму.

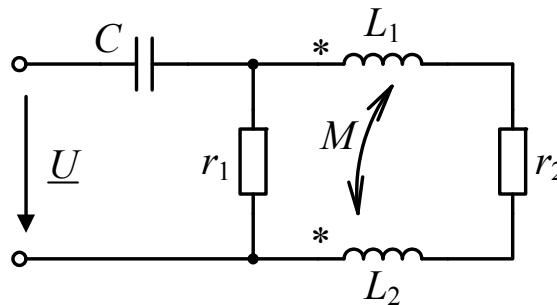


2. Записать и определить численно комплекс входного сопротивления цепи (заданы параметры цепи и частота ω): $M = 0,2 \text{ Г}$; $\omega = 100 \text{ рад/с}$; $L_1 = L_2 = 0,2 \text{ Гн}$; $C = 250 \text{ мкФ}$; $r_1 = 10 \text{ Ом}$.

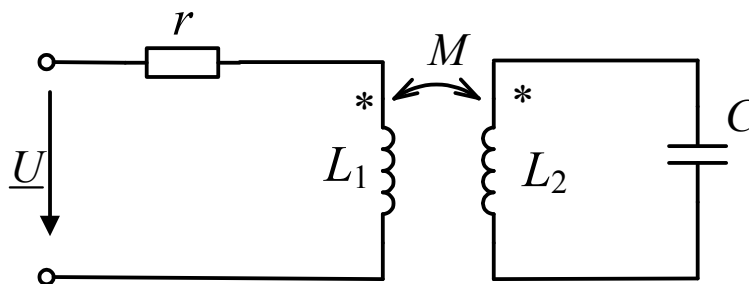


Билет 13

1. Построить качественную векторную диаграмму ($M > L_2$). Записать уравнение по второму закону Кирхгофа для внешнего контура, если $X_{L1} = 15 \text{ Ом}$; $X_{L2} = 30 \text{ Ом}$; $X_C = 25 \text{ Ом}$; $X_M = 10 \text{ Ом}$; $r = 5 \text{ Ом}$.

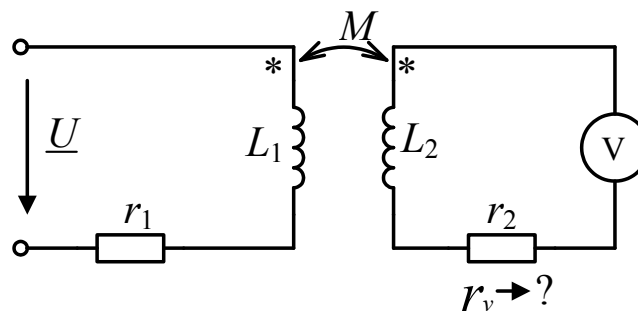


2. Определить комплексное входное сопротивление заданной цепи.

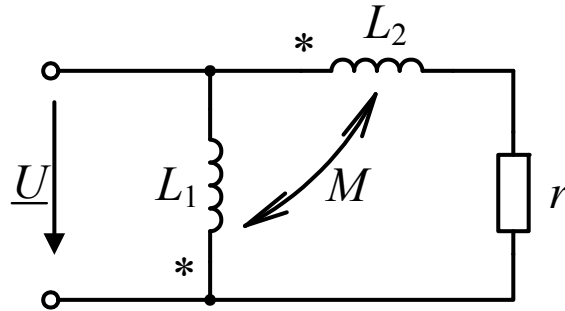


Билет 14

1. Построить качественную векторную диаграмму. Определить показания вольтметра: $U = 100 \text{ В}$; $r_1 = 6 \text{ Ом}$; $X_{L1} = 8 \text{ Ом}$; $X_M = 10 \text{ Ом}$.

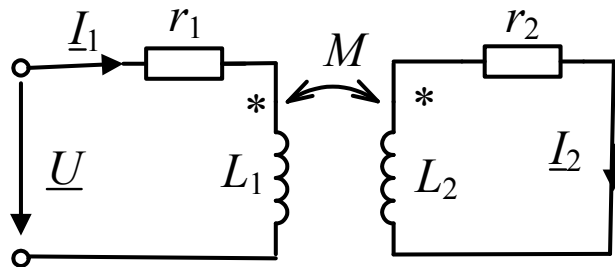


2. Определить комплекс входного сопротивления цепи. Заданы: $L_1 = 0,2$ Гн; $L_2 = 0,1$ Гн; $r = 50$ Ом; $\omega = 100$ рад/с.

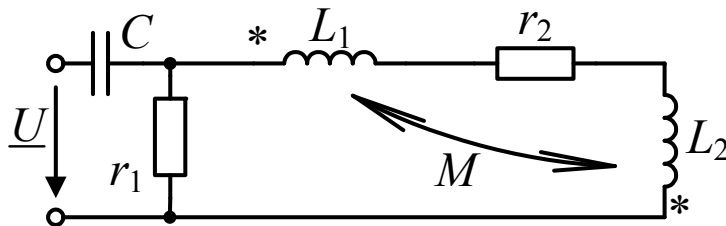


Билет 15

1. Записать комплекс по законам Кирхгофа. Построить качественную векторную диаграмму.

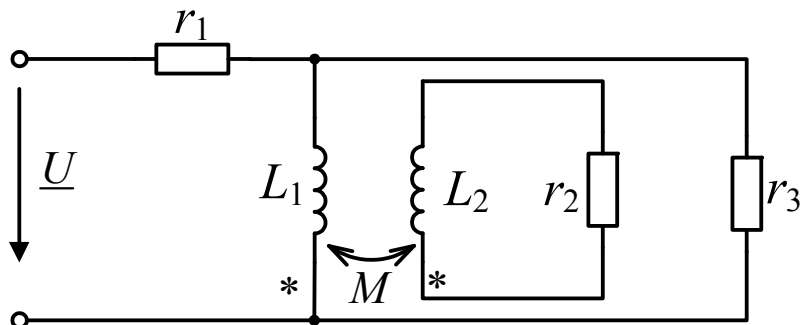


2. Записать комплекс входного сопротивления цепи, если известны все элементы цепи, а также частота ω : $\omega = 100$ рад/с; $r_1 = 30$ Ом; $r_2 = 20$ Ом; $L_1 = 0,3$ Гн; $L_2 = 0,4$ Гн; $M = 0,1$ Гн; $C = 10^3$ мкФ

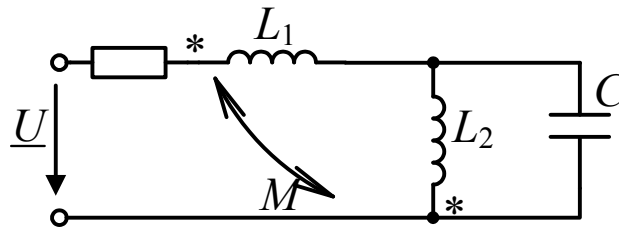


Билет 16

1. Построить качественную векторную диаграмму.

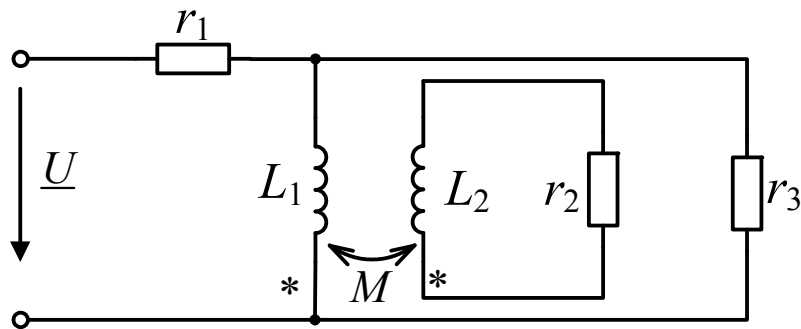


2. Записать комплекс входного сопротивления цепи. Заданы параметры и частота ω : $\omega = 100$ рад/с; $r_1 = 20$ Ом; $L_1 = 0,3$ Гн; $L_2 = 0,2$ Гн; $M = 0,1$ Гн; $C = 10^3$ мкФ.



Билет 17

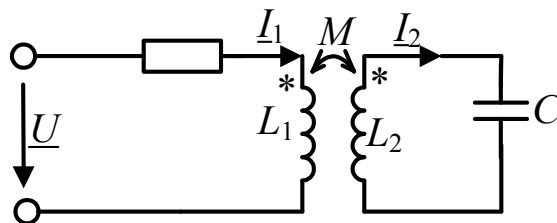
1. Построить качественную векторную диаграмму.



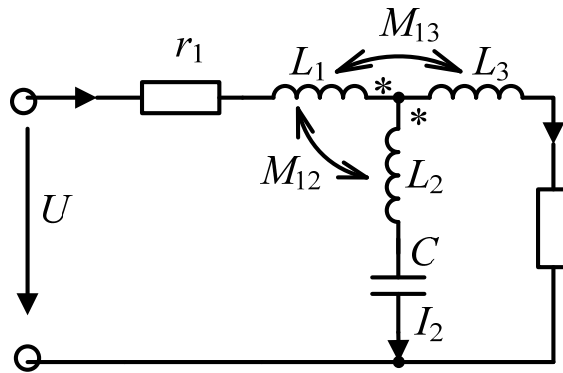
2. Две индуктивные связанные катушки соединены последовательно. Ток в цепи и напряжение на зажимах одной катушки, соответственно, равны: $I = 8e^{-j26^\circ}$; $U_1 = 64e^{-j26^\circ}$. Определить r и L_1 этой катушки, если $M = 0,16$ Гн.

Билет 18

1. С помощью построения качественной векторной диаграммы определить угол сдвига φ между U и I_1 , $X_{L_1} = 20$ Ом; $X_M = 10$ Ом; $X_{L_2} = 40$ Ом; $X_C = 15$ Ом; $r = 20$ Ом.

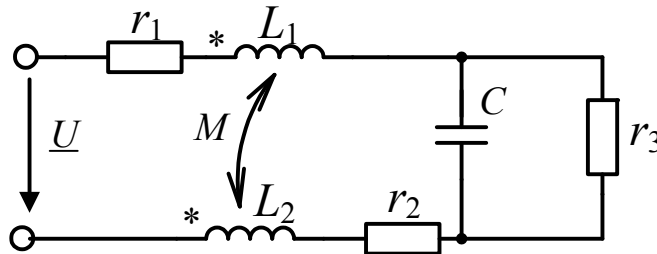


2. Составить уравнения по законам Кирхгофа.

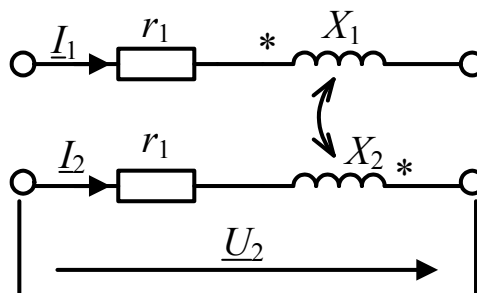


Билет 19

1. Построить качественную векторную диаграмму.

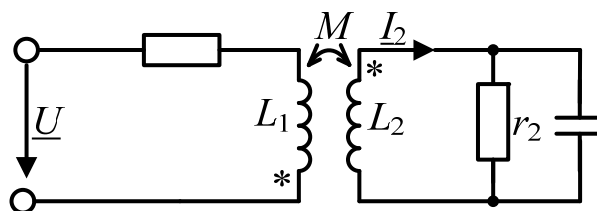


2. Для двух индуктивно связанных катушек заданы $r_1 = 5 \text{ Ом}$; $X_1 = X_2 = 6 \text{ Ом}$; $r_2 = 9 \text{ Ом}$; $L_1 = 7,5 \sin(\omega t + 90^\circ)$; $X_M = 2 \text{ Ом}$; $I_{2m} = 5e^{-j90^\circ}$. Записать U_2 .

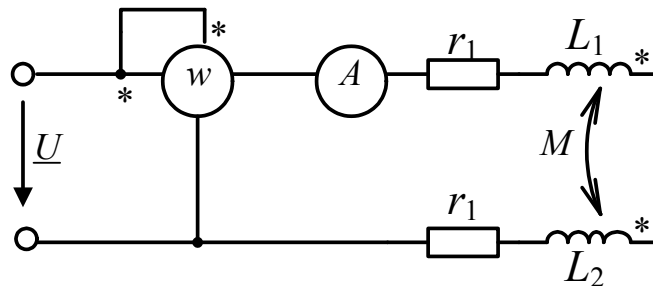


Билет 20

1. Построить качественную векторную диаграмму.

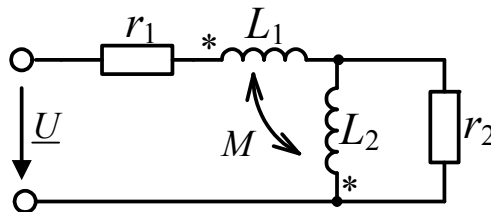


2. Определить сдвиг фаз между напряжением U и током I , если амперметр показывает 11 А, ваттметр – 2420 Вт, параметры катушки: $X_{L_1} = 20$ Ом; $X_{L_2} = 10$ Ом; $X_M = 5$ Ом.

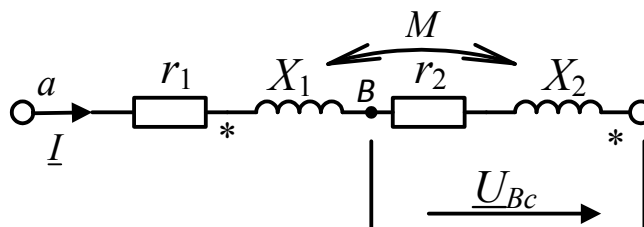


Билет 21

1. Для заданной цепи освободиться от индуктивных связей и построить качественную векторную диаграмму ($L_2 > M$).

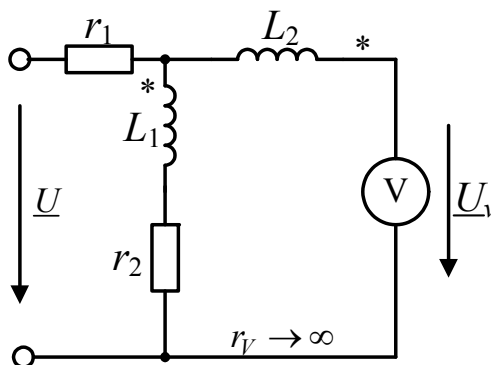


2. Определить сдвиг фаз между током в цепи и напряжением U на зажимах второй катушки: $X_2 = r_2 = 10$ Ом; $\omega M = 5$ Ом.

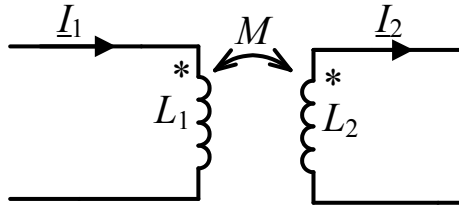


Билет 22

1. Построить качественную векторную диаграмму цепи. Показать на диаграмме вектор U_V .

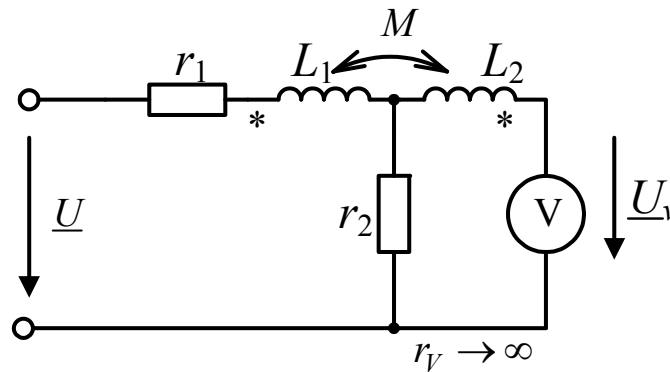


2. Определить активную мощность, передаваемую из первой ветви во вторую, если $M = 0,5$ Гн; $\omega = 100$ рад/с; $I_1(t) = 1 \sin(\omega t + 30^\circ)$; $I_2(t) = 2 \sin(\omega t + 90^\circ)$.

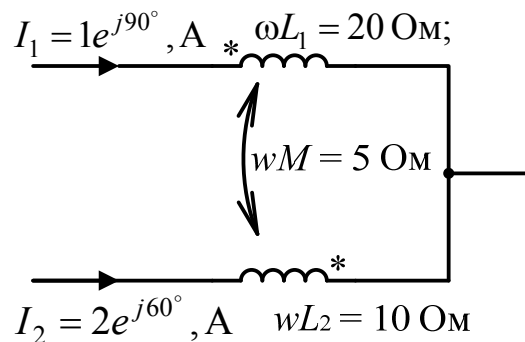


Билет 23

1. Построить качественную векторную диаграмму цепи. Показать на диаграмме вектор U_V .

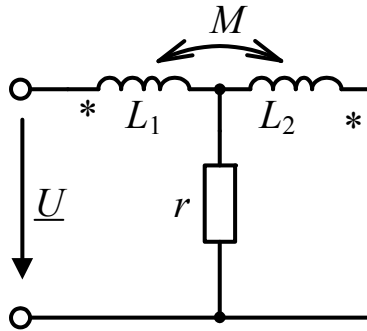


2. Определить активную мощность, передаваемую из первой ветви во вторую за счет взаимной индуктивности.

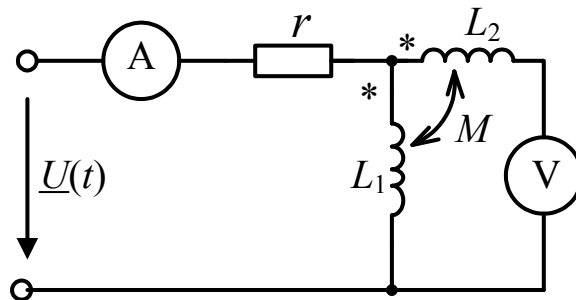


Билет 24

1. Сделав развязку взаимоиндуктивных связей, построить качественную векторную диаграмму цепи.

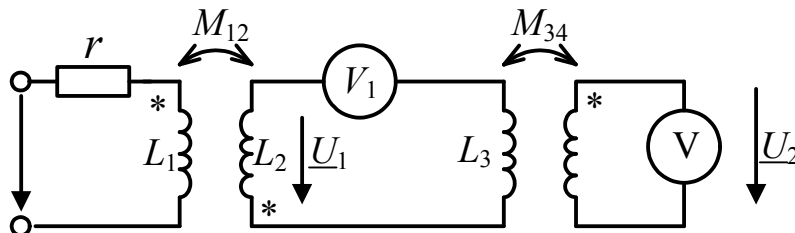


2. Определить показания амперметра и вольтметра, если:
 $R = 20 \text{ Ом}$; $\omega M = 10 \text{ Ом}$; $u(t) = 200 \sin \omega t \text{ В}$; $\omega L_1 = 20 \text{ Ом}$; $\omega L_2 = 40 \text{ Ом}$.

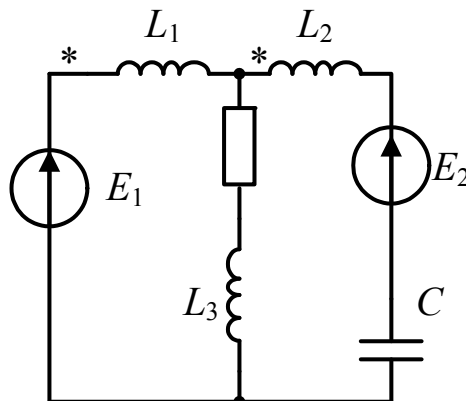


Билет 25

1. Построить качественную векторную диаграмму цепи. На диаграмме показать векторы U_1 и U_2 .



2. Для заданной схемы записать уравнение по законам Кирхгофа и по методу контурных токов. Найти контурный ток I_1 , если $\omega L_1 = \omega L_2 = 10 \text{ Ом}$; $\omega M = 5 \text{ Ом}$; $\omega L_3 = 5 \text{ Ом}$.



Содержание

Предисловие.....	3
Правила выполнения лабораторно-расчетных работ кафедры «Физика и электротехника».....	4
Правила техники безопасности в лабораториях кафедры «Физика и электротехника».....	7
<i>Лабораторно-расчетная работа № 1</i> Исследование внешних характеристик источников питания»	8
<i>Лабораторно-расчетная работа № 2</i> Исследование делителей напряжения	16
<i>Лабораторно-расчетная работа № 3</i> Разветвленная цепь постоянного тока	22
<i>Лабораторно-расчетная работа № 4</i> Активный двухполюсник. Линейные соотношения.....	28
<i>Лабораторно-расчетная работа № 5</i> Простые цепи переменного тока.....	33
<i>Лабораторно-расчетная работа № 6</i> Исследование разветвленной цепи переменного тока при постоянной частоте	40
<i>Лабораторно-расчетная работа № 7</i> Резонанс напряжений.....	46
<i>Лабораторно-расчетная работа № 8</i> Резонанс токов	54
<i>Лабораторно-расчетная работа № 9</i> Исследование цепей с взаимной индукцией	59
<i>Лабораторно-расчетная работа № 10</i> Трехфазные цепи, соединенные звездой	68
<i>Лабораторно-расчетная работа № 11</i> Трехфазные цепи, соединенные треугольником	74
Литература	78
Приложение 1. Пример оформления титульного листа.....	79
Приложение 2. Графическое изображение некоторых элементов схем замещения	80
Приложение 3. Задачи к защите лабораторной работы № 1	81
Приложение 4. Задачи к защите лабораторной работы № 3	101
Приложение 5. Задачи к защите лабораторной работы № 5	120
Приложение 6. Задачи к защите лабораторных работ № 7, 8.....	133
Приложение 7. Задачи к защите лабораторной работы № 9	146

Учебное издание

Бычкова Лилия Геннадьевна

**ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ
ПОСТОЯННОГО, ПЕРЕМЕННОГО
ОДНОФАЗНОГО И ТРЕХФАЗНОГО ТОКА**

Пособие

Редактор *Т. Н. Мисюрова*

Компьютерная верстка *М. В. Кравцова*

Подписано в печать 26.02.19.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 10,2.

Тираж 30 экз. Заказ № 152/106.

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель